



Sveučilište u Zagrebu

Fakultet strojarstva i brodogradnje

Ivica Mihaljević

MODEL PRAĆENJA UČINKOVITOSTI PROCESA DISTRIBUCIJE TOPLINSKE ENERGIJE PRIMJENOM NAČELA LEAN

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2016.



University of Zagreb

Faculty of mechanical engineering
and naval architecture

Ivica Mihaljević

**THE MODEL FOR MONITORING THE
EFFICIENCY OF THE PROCESS OF
DISTRIBUTION OF HEAT ENERGY BY
USING LEAN PRINCIPLES**

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2016.



Sveučilište u Zagrebu

Fakultet strojarstva i brodogradnje

Ivica Mihaljević

MODEL PRAĆENJA UČINKOVITOSTI PROCESA DISTRIBUCIJE TOPLINSKE ENERGIJE PRIMJENOM NAČELA LEAN

DOKTORSKI RAD

Mentor:
Prof. dr. sc. Nedeljko Štefanić

Zagreb, 2016.



University of Zagreb

Faculty of mechanical engineering
and naval architecture

Ivica Mihaljević

THE MODEL FOR MONITORING THE EFFICIENCY OF THE PROCESS OF DISTRIBUTION OF HEAT ENERGY BY USING LEAN PRINCIPLES

DOCTORAL THESIS

Supervisor:
Nedeljko Štefanić, PhD Full professor

Zagreb, 2016.

PODACI ZA BIBLIOGRAFSKU KARTICU

UDK:	658.5
Ključne riječi:	distribucija toplinske energije, daljinsko grijanje, <i>lean</i> načela, učinkovitost, emisije CO ₂
Znanstveno područje:	Tehničke znanosti
Znanstveno polje:	Strojarstvo Industrijsko inženjerstvo i menadžment
Institucija u kojoj je rad izrađen:	Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilište u Zagrebu
Mentor rada:	prof. dr.sc. Nedeljko Štefanić
Broj stranica:	158
Broj tablica:	36
Broj slika:	56
Broj korištenih bibliografskih jedinica:	75
Datum obrane:	25.07.2016.
Povjerenstvo:	dr.sc. Neven Duić, redoviti profesor, FSB Zagreb dr.sc. Nedeljko Štefanić, redoviti profesor, FSB Zagreb dr.sc. Ivica Veža, redoviti profesor, FESB Split
Institucija u koju je rad pohranjen:	Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu Nacionalna i sveučilišna knjižnica u Zagrebu

ZAHVALA

Izražavam iskrenu zahvalnost mentoru prof. dr.sc. Nedeljku Štefaniću na stručnom vodstvu, savjetima i pomoći tijekom izrade ovog doktorskog rada. Poštovani Profesore, veliko hvala za iskazano povjerenje, ljudskost i razumijevanje.

Zahvaljujem se članovima povjerenstva, prof. dr.sc. Nevenu Duiću i prof. dr.sc. Ivici Veži, na utrošenom vremenu za čitanje i pregled rada te za sve korisne i dobronamjerne savjete pri izradi rada.

Također se zahvaljujem Upravama HEP-Toplinarstva d.o.o. i Hrvatske elektroprivrede d.d. na financiranju doktorskog studija i prihvatanju teme doktorskog rada. Hvala svim kolegama i suradnicima iz Pogona Osijek na prikupljanju potrebnih podataka tijekom izrade rada. Hvala gospodinu Jozi Martinoviću na pomoći pri izradi ekonomske analize isplativosti revitalizacije vrelovodne mreže.

Posebno se zahvaljujem svojim roditeljima, Jandri i Mariji, supruzi Ivančici i sinu Borisu. Vaša ljubav, razumijevanje i molitve ugrađene su u ovaj rad.

SADRŽAJ

PREDGOVOR	vi
SAŽETAK	vii
Ključne riječi	ix
SUMMARY	x
Key words	xii
POPIS SLIKA	xiii
POPIS TABLICA	xvi
POPIS OZNAKA I KRATICA	xviii
1. UVOD	1
1.1. Motivacija za istraživanje	3
1.2. Cilj i hipoteza istraživanja	3
1.3. Metodologija i plan istraživanja	4
1.4. Opis poglavlja	4
2. STANJE I PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	6
2.1. Područje distribucije toplinske energije	7
2.2. Područje <i>Lean-a</i>	18
3. DALJINSKO GRIJANJE	25
3.1. Povijest i razvoj sustava daljinskog grijanja	25
3.2. Prednosti i nedostaci daljinskog grijanja	26
3.3. Daljinsko grijanje u Europskoj uniji	30
3.4. Uloga daljinskog grijanja u ostvarenju ciljeva energetske i klimatske politike EU	31
3.5. Toplinska djelatnost u Republici Hrvatskoj	34

3.5.1.	Zakonodavni okvir	34
3.5.2.	Organizacija sektora toplinske energije	37
3.5.3.	Glavna obilježja sektora toplinske energije	39
4.	OSNOVE <i>LEAN-a</i>	40
4.1.	Povijest <i>Lean</i> proizvodnje	41
4.2.	<i>Lean</i> gubici	43
4.3.	<i>Lean</i> razmišljanje	46
4.4.	<i>Lean</i> alati i tehnike	49
4.5.	<i>Green</i> proizvodnja	55
4.6.	Alati <i>Green</i> proizvodnje	57
5.	<i>LEAN</i> I <i>GREEN</i> PRISTUP U DISTRIBUCIJI TOPLINSKE ENERGIJE	59
5.1.	Osnovne toplinske djelatnosti	60
5.2.	Procesi u distribuciji toplinske energije	63
5.3.	<i>Lean</i> načela u distribuciji toplinske energije	66
5.4.	<i>Lean</i> i <i>green</i> gubici u distribuciji toplinske energije	67
6.	OBLIKOVANJE MODELA ZA PRAĆENJE UČINKOVITOSTI PROCESA DISTRIBUCIJE TOPLINSKE ENERGIJE	71
6.1.	Postavljanje energetske <i>VSM</i> mape početnog stanja procesa distribucije ..	72
6.2.	Analiza toka vrijednosti u procesu distribucije	74
6.2.1.	Prikaz procesa distribucije kao <i>lean</i> procesa	74
6.2.2.	Analiza <i>lean</i> i <i>green</i> gubitaka u procesu distribucije	76
6.3.	Planovi poboljšanja procesa distribucije	76
6.4.	Postavljanje energetske <i>VSM</i> mape budućeg stanja procesa distribucije ...	79
6.5.	Provođenje mjera i aktivnosti za poboljšanje procesa	81
7.	TESTIRANJE POSTAVLJENOG MODELA NA SUSTAVU DALJINSKOG GRIJANJA U GRADU OSIJEKU	82
7.1.	Energetska <i>VSM</i> mapa početnog stanja	83
7.1.1.	Opis problema u distribuciji toplinske energije	83
7.1.2.	Postavljanje mape	84
7.2.	Analiza toka vrijednosti	86
7.3.	Planovi poboljšanja procesa distribucije	88
7.4.	Energetska <i>VSM</i> mapa budućeg stanja	89
7.5.	Provođenje mjera i aktivnosti za poboljšanje procesa	91

7.6.	Revitalizacija distribucijske vrelovodne mreže	92
7.6.1.	Opseg revitalizacije	94
7.6.2.	<i>Lean i green</i> metrika	94
7.6.3.	Analiza isplativosti revitalizacije	98
7.7.	Tehničko-ekonomsko optimiziranje sustava daljinskog grijanja	101
7.7.1.	Optimiziranje temperaturnog režima vrelovodne mreže	104
7.7.2.	Optimiziranje rada glavnih cirkulacijskih crpki u vrelovodnoj mreži	109
7.8.	Poboljšanje kvalitete korektivnog održavanja	111
7.8.1.	Opis problema puknuća i propuštanja cjevovoda	112
7.8.2.	Uzroci propuštanja cjevovoda	114
7.8.3.	Hitne intervencije zbog puknuća cjevovoda	115
7.9.	Zamjena spojnog vrelovoda	118
7.10.	Ugradnja razdjelnika i termostatskih radijatorskih ventila	122
8.	ZAKLJUČAK	124
8.1.	Glavni rezultati provedenog istraživanja	124
8.2.	Mogućnosti daljnjeg istraživanja	127
9.	LITERATURA	128
10.	PRILOZI	134
10.1.	Toplinarstvo grada Osijeka	134
10.1.1.	Proizvodnja toplinske energije	135
10.1.2.	Distribucija toplinske energije - vrelovodna mreža	136
10.1.3.	Vrelovodne toplinske podstanice	138
10.1.4.	Potrošači toplinske energije	140
10.1.5.	Tarifni sustav	141
10.2.	Ekonomska analiza isplativosti revitalizacije vrelovodne mreže	142
10.2.1.	Pristup analizi	142
10.2.2.	Ekonomsko-financijska analiza	144
10.3.	Proračun ušteda zbog optimiziranja temperaturnog režima	149
10.4.	Proračun ušteda nakon ugradnje razdjelnika	155
	ŽIVOTOPIS	157
	BIOGRAPHY	158

PREDGOVOR

Razvoj i širenje sustava daljinskog grijanja i hlađenja može značajno pridonijeti dodatnom smanjenju emisija CO₂, povećanju udjela obnovljivih izvora i povećanju energetske učinkovitosti kako bi se ostvarili postavljeni ciljevi energetske politike Europske unije i omogućio prijelaz na konkurentno niskougljično gospodarstvo. Da bi mogli ispuniti ovu ulogu sustavi daljinskog grijanja trebaju se preoblikovati u učinkovite niskotemperaturne sustave u kojima bi se gotovo sve količine toplinske energije proizvodile iz obnovljivih izvora i iskorištavanjem otpadne topline. Novi koncept sustava daljinskih grijanja četvrte generacije prepoznaje nedovoljnu usmjerenost postojećih sustava prema potrošaču i želi to ispraviti, te stoga udobnost krajnjeg kupca stavlja u središte i kreće od toga.

Budući da je i osnovna značajka *Lean-a* stvaranje vrijednosti iz perspektive krajnjeg kupca, u ovom radu istražene su mogućnosti primjene *lean* načela u području distribucije toplinske energije u sustavima daljinskog grijanja, s ciljem poboljšanja i povećanja učinkovitosti ove djelatnosti. To će pridonijeti približavanju postojećih sustava daljinskih grijanja (druge i treće generacije) sustavima četvrte generacije i pomoći da u budućnosti daljinsko grijanje može uspješno obaviti svoju ulogu u razvoju održivog gospodarstva.

SAŽETAK

Istraženo je područje distribucije toplinske energije u daljinskom grijanju i područje *Lean-a* kako bi se vidjelo koje se promjene i poboljšanja mogu učiniti uvođenjem *Lean* razmišljanja u energetske menadžment ove djelatnosti. Opisane su osnovne značajke distribucije toplinske energije, istaknuti problemi koji utječu na neučinkovitost djelatnosti te postavljeni ciljevi istraživanja. Na temelju spoznaja i primjera prikazanih u znanstvenim radovima iz područja distribucije toplinske energije analizirane su aktivnosti koje najviše pridonose povećanju energetske učinkovitosti i relevantni pokazatelji učinkovitosti procesa distribucije (toplinski gubici, gubici vode zbog nadopune mreže i emisije stakleničkih plinova).

Istraživanje znanstvenih radova iz područja *Lean-a* poslužilo je za analizu primjenjivosti i određivanje značenja *lean* načela u daljinskom grijanju. *Lean* gubicima pridruženi su odgovarajući gubici u procesu distribucije toplinske energije. Proizlazi da se gotovo svi *lean* gubici mogu promatrati kao gubitak energije, koji je, uz gubitke vode i emisija stakleničkih plinova, jedan od glavnih *green* gubitaka.

Na temelju provedenih istraživanja oblikovan je *LEGREM-DHE* model za praćenje učinkovitosti procesa distribucije toplinske energije primjenom *lean* načela kojeg čine sljedeći koraci:

1. Postavljanje energetske VSM mape početnog stanja procesa distribucije

Postavlja se energetska *VSM* mapa početnog stanja procesa distribucije toplinske energije u kojoj se prikazuju polazne vrijednosti najznačajnijih pokazatelja učinkovitosti ove djelatnosti.

2. Analiza toka vrijednosti

Prikazuje se i analizira tok vrijednosti energetske učinkovitosti u procesu distribucije toplinske energije, koji se promatra kao *lean* proces sastavljen od:

- aktivnosti koje dodaju vrijednost (*VAT - Value Added Time*),
- aktivnosti koje ne dodaju vrijednost, ali su neophodne za obavljanje djelatnosti (*NVAT - Not Value Added Time*) i
- aktivnosti koje predstavljaju čisti gubitak (*WT - Waste Time*).

3. Planovi poboljšanja procesa

Donose se planovi za smanjenje gubitaka, njihovo optimiziranje i povećanje učinkovitosti u djelatnosti distribucije toplinske energije. Odgovarajući *lean* alati i tehnike se primjenjuju u procesu distribucije toplinske energije kroz provedbu odabranih aktivnosti koje najviše pridonose smanjenju i uklanjanju gubitaka u distribuciji.

4. Postavljanje energetske VSM mape budućeg stanja procesa distribucije

Postavlja se energetska *VSM* mapa budućeg stanja za proces distribucije toplinske energije s naznačenim izmjenama u odnosu na početno stanje i procijenjenim (ciljanim) vrijednostima pokazatelja učinkovitosti koji bi se trebali postići nakon poboljšanja procesa.

5. Provođenje mjera i aktivnosti za poboljšanje procesa

Propisuje se metrika praćenja ostvarenja ciljanih vrijednosti pokazatelja učinkovitosti procesa, a nakon toga se provode odabrane aktivnosti, neprestano ocjenjujući izvođenje i preispitujući postavljene ciljeve.

Težnjom za kontinuiranim poboljšavanjem procesa i zadavanjem novih ciljeva nastavlja se opisani postupak kao *PDCA* ciklus, tako da se ponovno prolazi od početnog do završnog koraka modela. Na taj način se omogućuje uravnoteženo postizanje ciljeva u kojem se ne narušava potrebna kvaliteta procesa.

Oblikovani model *LEGREM-DHE* testiran je na sustavu daljinskog grijanja u gradu Osijeku. Analizira se kako na smanjenje *lean* gubitaka (transporta, škarta, prekomjerne proizvodnje toplinske energije), *green* gubitaka (energije, vode, emisija dimnih plinova) i na povećanje energetske učinkovitosti procesa distribucije toplinske energije utječe primjena odgovarajućih *lean* alata i tehnika kroz provedbu sljedećih aktivnosti:

- revitalizacija vrelovodne mreže (*Standardizacija, Andon*)
- optimiziranje temperaturnog režima i rada glavnih cirkulacijskih crpki vrelovodne mreže (*Poka-Yoke, Pull*)
- poboljšanje kvalitete korektivnog održavanja (*TPM, 5 Whys*)
- zamjena dionice vrelovodne mreže koja predstavlja "usko grlo" razvoju toplinskog konzuma (*Analiza "uskog grla"*)
- smanjenje potrošnje toplinske energije nakon ugradnje uređaja za lokalnu razdiobu troškova isporučene energije i termostatskih radijatorskih ventila (*Poka-Yoke*).

Lean i *green* metrika praćenja ostvarenih vrijednosti najznačajnijih pokazatelja učinkovitosti procesa distribucije toplinske energije nakon provođenja ovih aktivnosti pokazuje da se primjenom *lean* načela može povećati učinkovitost ove djelatnosti i sustava daljinskog grijanja, smanjiti potrošnja primarne energije i emisija stakleničkih plinova što pridonosi podizanju kvalitete usluge i zadovoljstva kupaca priključenih na toplinski sustav.

Znanstveni doprinos ovog istraživanja iskazan je kroz:

- sistematizaciju *lean* i *green* gubitaka u energetske djelatnosti distribucije toplinske energije
- postavljanje energetske *VSM* mape za proces distribucije toplinske energije
- oblikovanje modela za praćenje učinkovitosti procesa distribucije toplinske energije i
- razvoj novog procesa rada u energetske djelatnostima utemeljenog na *lean* načelima.

Ključne riječi: distribucija toplinske energije, daljinsko grijanje, *lean* načela, učinkovitost, emisije CO₂.

SUMMARY

Explored the area of distribution of heat energy for district heating and area of Lean to see what changes and improvements can make the introduction of Lean thinking in energy management of this activity. It describes the basic features of the distribution of heat energy, highlight the problems that affect the ineffectiveness of activities and set objectives of the research. Based on the knowledge and examples presented in scientific papers in the field of heat energy distribution are analyzed activities that contribute most to the increase of energy efficiency and relevant indicators of the effectiveness of the distribution process (heat losses, water losses due to network updates and greenhouse gas emissions).

The research papers in the field of Lean has served to analyze the applicability and determine the meaning of lean principles to district heating. Lean losses associated the corresponding losses in the distribution of heat energy. It appears that nearly all lean losses can be seen as a waste of energy, that is, with the loss of water and greenhouse gas emissions, one of the main green of losses.

Based on the research model *LEGREM-DHE* is designed to monitor the efficiency of the process of distribution of heat energy by applying lean principles, which consists of the following steps:

1. Setting energy VSM map initial state distribution processes

This raises the energy map of the VSM initial state of the process of distribution of heat energy in which the running baseline most important indicators of the effectiveness of these activities.

2. Analysis of the current value

Showing and analyzes current value of energy efficiency in the distribution of heat energy, which is seen as a lean process consists of:

- activities that add value (VAT - Value Added Time)
- activities that do not add value, but are required to perform the activity (Vat - Not Value Added Time) and
- activities that represent a net loss of (WT - Waste Time).

3. Plans for process improvement

They bring the plans to reduce losses, their optimization and increase efficiency in the distribution of heat energy. Responding lean tools and techniques are applied in the process of distribution of heat energy through the implementation of selected activities that contribute most to the reduction and elimination of losses in distribution.

4. Setting energy VSM map future state distribution processes

This raises the energy VSM map of the future state of the process of distribution of heat energy with marked changes in the baseline and estimated (target) values of performance indicators that should be achieved after the improvement process.

5. Implementation of measures and actions to improve processes

It stipulates the metrics for monitoring achievement of target values of the indicators of efficiency of the process, and then implemented the selected activities, continually evaluating and reviewing the performance of the set goals.

Striving for continuous improvement of processes and specifying new targets continue the present process as the *PDCA* cycle so that the re-runs from the initial to the final step of the model. Thereby allows balanced achievement of the objectives which does not disturb the required process quality.

Shaped model *LEGREM-DHE* has been tested on the district heating system in the city of Osijek. It analyzes how the reduction of lean losses (transport, waste and excessive heat generation), green losses (energy, water, flue gas emissions) and to increase the energy efficiency of the process of distribution of heat affects the application of appropriate lean tools and techniques through the implementation of the following activities:

- revitalization of the district heating network (*Standardization, Andon*)
- optimization of temperature and operation of the main circulation pumps hot water network (*Poka-Yoke, Pull*)
- improving the quality of corrective maintenance (*TPM, 5 Whys*)
- replacement of hot water network that shares a "bottleneck" developing heat consumption (*Bottleneck Analysis*)
- reduction of heat energy consumption after installation of heat cost allocators and thermostatic radiator valves (*Poka-Yoke*).

Lean and green metrics monitoring actual values of the most important indicators of the efficiency of the process of distribution of heat energy after the implementation of these activities shows that the application of lean principles can increase the efficiency of these activities and district heating systems, reduce primary energy consumption and greenhouse gas emissions that contribute to raising the quality of services and customer satisfaction connected to the heating system.

The scientific contribution of this research is expressed through:

- systematization of lean and green energy losses in the distribution of heat energy
- setting energy VSM map for process heat energy distribution
- design models for monitoring the efficiency of the process of distribution of heat energy and
- development of new processes in the energy sector based on lean principles.

Key words: distribution of heat energy, district heating, lean principles, efficiency, CO₂ emissions.

POPIS SLIKA

Slika 2.1.	Toplinski gubici u mrežama daljinskog grijanja europskih gradova [8]	9
Slika 2.2.	Toplinski gubici u danskim sustavima daljinskog grijanja [12]	13
Slika 3.1.	Temeljna ideja modernog sustava daljinskog grijanja [31]	26
Slika 3.2.	Vrijednosti faktora <i>PEF</i> za različite načine grijanja [31]	27
Slika 3.3.	Količine emisija CO ₂ za različite načine grijanja [31]	28
Slika 3.4.	Udio stanovništva priključenog na sustave daljinskog grijanja [33]	30
Slika 3.5.	Struktura proizvodnje toplinske energije za sustave daljinskog grijanja [33]	30
Slika 3.6.	Potrošnja primarne energije za grijanje i hlađenje u EU u 2012. godini [39]	33
Slika 3.7.	Odnos između sudionika na tržištu toplinske energije u RH	36
Slika 3.8.	Broj krajnjih kupaca toplinske energije u RH u 2014. godini [44]	37
Slika 3.9.	Isporučena toplinska energija u 2014. godini na tržištu toplinske energije u RH [44]	38
Slika 4.1.	Ciljevi <i>Lean</i> upravljanja [46]	40
Slika 4.2.	Povijest <i>Lean</i> proizvodnje	41
Slika 4.3.	Toyotin proizvodni sustav [49]	42
Slika 4.4.	7+1 vrsta <i>Lean</i> gubitaka	43
Slika 4.5.	Osnovna <i>Lean</i> načela	47
Slika 4.6.	Alati <i>Lean</i> proizvodnje i usluga [46]	49
Slika 4.7.	Metoda 5S [56]	50
Slika 4.8.	Postupak mapiranja toka vrijednosti [57]	51
Slika 4.9.	Standardizacija pomoću <i>PDCA</i> ciklusa [59]	52
Slika 4.10.	5 <i>Whys</i>	53

Slika 4.11.	Održivi razvoj [46]	55
Slika 4.12.	Analiza granica <i>green</i> sustava [46]	57
Slika 4.13.	Model izvrsnosti <i>Lean</i> i <i>Green</i> proizvodnje [46]	58
Slika 5.1.	Sustav daljinskog grijanja [61]	59
Slika 5.2.	Osnovne toplinske djelatnosti	60
Slika 5.3.	Ukupni stupanj iskorištenja kod odvojene i zajedničke proizvodnje električne i toplinske energije [62]	61
Slika 5.4.	Pomoćni procesi u distribuciji toplinske energije	63
Slika 5.5.	Remont booster crpke	64
Slika 5.6.	Priključenje podnog grijanja Trga A. Starčevića u Osijeku na vrelovodni sustav	65
Slika 6.1.	Model <i>LEGREM-DHE</i>	71
Slika 6.2.	Energetska <i>VSM</i> mapa početnog stanja procesa distribucije toplinske energije	73
Slika 6.3.	Prikaz procesa distribucije toplinske energije kao <i>lean</i> procesa	75
Slika 6.4.	Poboljšanje procesa distribucije toplinske energije	77
Slika 6.5.	Primjena <i>lean</i> alata i tehnika u procesima distribucije toplinske energije ..	79
Slika 6.6.	Energetska <i>VSM</i> mapa budućeg stanja procesa distribucije toplinske energije	80
Slika 7.1.	Energetska <i>VSM</i> mapa početnog stanja procesa distribucije toplinske energije u Pogonu Osijek	85
Slika 7.2.	Energetska <i>VSM</i> mapa budućeg stanja procesa distribucije toplinske energije u Pogonu Osijek (nakon revitalizacije mreže)	90
Slika 7.3.	Revitalizacija vrelovodne mreže u Osijeku	93
Slika 7.4.	Toplinski gubici u distribuciji (<i>NVAT</i> i <i>WT</i> dio)	97
Slika 7.5.	Emisije CO ₂ – dio koji se odnosi na toplinske gubitke u distribuciji	97
Slika 7.6.	Struktura sustava za optimiziranje daljinskog grijanja [69]	102
Slika 7.7.	Shema vrelovodne mreže s označenim mjestima ugrađene mjerne opreme za sustav optimiziranja	103
Slika 7.8.	Prikaz transportnog vremena ogrjevnog medija u vrelovodnoj mreži grada Osijeka	105
Slika 7.9.	Temperaturni režim vrelovodne mreže prije optimiziranja	106

Slika 7.10.	Temperatura polaza u ovisnosti o vanjskoj temperaturi prije i poslije optimiziranja - dnevni režim	107
Slika 7.11.	Temperatura polaza u ovisnosti o vanjskoj temperaturi prije i poslije optimiziranja - noćni režim	107
Slika 7.12.	Cirkulacijske crpke sa sustavom regulacije tlaka promjenom brzine vrtnje motora pretvaračem frekvencije [71]	110
Slika 7.13.	Propuštanja cjevovoda	113
Slika 7.14.	Grafički prikaz rezultata hidrauličkog proračuna postojećeg stanja vrelovodne mreže - spojni vrelovod NO 550 [72]	118
Slika 7.15.	Grafički prikaz rezultata hidrauličkog proračuna vrelovodne mreže s novim spojnim vrelovodom NO 800 [72]	120
Slika 10.1.	Toplana Osijek	134
Slika 10.2.	Termoelektrana -toplana Osijek	136
Slika 10.3.	Centralni toplinski sustav grada Osijeka	137
Slika 10.4.	Toplinska podstanica direktnog tipa	139
Slika 10.5.	Toplinska podstanica indirektnog tipa (Kompakt)	139

POPIS TABLICA

Tablica 3.1.	Osnovne prednosti daljinskog grijanja [31]	29
Tablica 3.2.	Podaci o energetske subjektima u sektoru toplinarstva u RH za 2014. godinu [44]	38
Tablica 7.1.	Struktura zamjene vrelovoda prema nazivnom otvoru i starosti	94
Tablica 7.2.	<i>Lean i green</i> metrika – praćenje revitalizacije vrelovodne mreže	95
Tablica 7.3.	Uštede ostvarene primjenom <i>Standardizacije rada</i> kroz revitalizaciju mreže	98
Tablica 7.4.	Ukupni troškovi ulaganja u zamjenu vrelovoda - po godinama	98
Tablica 7.5.	Troškovi ulaganja u zamjenu vrelovoda - po području i godinama	99
Tablica 7.6.	Dobici ostvareni zamjenom vrelovoda u Osijeku	100
Tablica 7.7.	<i>Lean i green</i> metrika optimiziranja temperaturnog režima	108
Tablica 7.8.	<i>Lean i green</i> metrika optimiziranja rada glavnih cirkulacijskih crpki ...	111
Tablica 7.9.	Podaci o hitnim intervencijama	115
Tablica 7.10.	Podaci o trajanju hitnih intervencija	116
Tablica 7.11.	Analiza vremena trajanja pojedinih aktivnosti u procesu hitnih intervencija	118
Tablica 7.12.	<i>Lean</i> metrika potencijalnih ušteda povećanjem promjera spojnog vrelovoda	120
Tablica 7.13.	<i>Lean i green</i> metrika očekivanog smanjenja gubitaka u distribuciji nakon ugradnje razdjelnika	123
Tablica 10.1.	Osnovni podaci o pojedinim toplinskim sustavima u gradu Osijeku	135
Tablica 10.2.	Osnovni podaci o vrelovodnoj mreži	138
Tablica 10.3.	Podaci o prosječnoj starosti mreže	138
Tablica 10.4.	Pregled toplinskih podstanica po tipu i dimenzijama	139

Tablica 10.5.	Prosječna starost toplinskih podstanica	140
Tablica 10.6.	Podaci o potrošačima i toplinskom konzumu	140
Tablica 10.7.	Ekonomski tokovi revitalizacije vrelovodne mreže	147
Tablica 10.8.	Financijski tokovi revitalizacije vrelovodne mreže	148
Tablica 10.9.	Diskontiranje tokova izdataka i dobitaka	148
Tablica 10.10.	Podaci o proizvedenoj i isporučenoj toplinskoj energiji u 2015. godini za centralni toplinski sustav – vrelovod u Osijeku	149
Tablica 10.11.	Cijene toplinske energije za centralni toplinski sustav - vrelovod u Osijeku	150
Tablica 10.12.	Proračun ušteda energije i troškova zbog optimiziranja temperature polaza mreže	150
Tablica 10.13.	Stanje nakon optimiziranja temperatura	151
Tablica 10.14.	Proračun ušteda zbog smanjenja isporuke toplinske energije kupcima ..	151
Tablici 10.15.	Stanje nakon optimiziranja i smanjene isporuke toplinske energije	152
Tablica 10.16.	Ukupne uštede	152
Tablici 10.17.	Kontrolni proračun promjene temperature u prostorijama	153
Tablica 10.18.	Smanjenje emisija CO ₂ nakon optimiziranja temperaturnog režima	154
Tablica 10.19.	Proračun ušteda energije i troškova nakon ugradnje razdjelnika	155
Tablica 10.20.	Proračun ušteda zbog smanjenja isporuke toplinske energije kupcima nakon ugradnje razdjelnika	156
Tablica 10.21.	Smanjenje emisija CO ₂ nakon ugradnje razdjelnika	156

POPIS OZNAKA I KRATICA

Oznaka ili kratica	Opis
<i>A</i>	Površina/oplošje grijanih površina
<i>ARR</i>	<i>Accounting Rate of Return</i> (metoda računovodstvene stope povrata)
<i>CO₂</i>	Ugljični dioksid
<i>CO₂-eq</i>	Koeficijent utjecaja na globalno zatopljenje
<i>CTS</i>	Centralni toplinski sustav
<i>dT</i>	Razlika srednje temperature vode u radijatoru i temperature grijanog prostora - staro stanje
<i>dTn</i>	Razlika srednje temperature vode u radijatoru i temperature grijanog prostora - novo stanje
<i>dTp</i>	Smanjenje temperature u prostoriji
<i>EJ</i>	Exajoule (10 ¹⁸ J)
<i>EL-TO</i>	Elektrana-toplana
<i>EPA</i>	<i>US Environmental Protection Agency</i> (Američka agencija za zaštitu okoliša)
<i>Eprod</i>	Prodana toplinska energija
<i>Eproizv</i>	Proizvedena toplinska energija
<i>ERO</i>	Eliminirati, Reducirati i Optimizirati
<i>EU</i>	Europska unija
<i>EU-EE</i>	<i>Energy Roadmap Europe - Energy Efficiency Scenario</i>
<i>GALP</i>	<i>Green And Lean Production</i> (Zelena i vitka proizvodnja)
<i>GIS</i>	<i>Geographic information system</i> (geografski informacijski sustav)
<i>GSM</i>	<i>Global System for Mobile Communications</i> (globalni sustav za mobilne komunikacije)

HEP	Hrvatska elektroprivreda
HERA	Hrvatska energetska regulatorna agencija
<i>HRE-EE</i>	<i>Heat Roadmap Europe - Energy Efficiency Scenario</i>
<i>IEA</i>	<i>International Energy Agency</i> (Međunarodna energetska agencija)
<i>IMVP</i>	<i>International Motor Vehicle Program</i>
<i>IRR</i>	<i>Internal Rate of Return</i> (metoda interne stope povrata)
<i>ISO</i>	<i>International Organization for Standardization</i> (Međunarodna organizacija za standardizaciju)
<i>JIT</i>	<i>Just in Time</i>
<i>k</i>	Koeficijent toplinske provodljivosti
<i>LAI</i>	<i>Lean Advantismment Initiative</i>
<i>LCA</i>	<i>Life Cycle Assessment</i> (procjena životnog ciklusa)
<i>LEGREM-DHE</i>	LE an GR een E fficiency M odel - D istribution of H eat E nergy (Lean-Green model učinkovitosti distribucije toplinske energije)
<i>MIT</i>	<i>Massachusetts Institute of Tehnology</i>
<i>MVSM</i>	<i>Maintenance Value Stream Mapping</i> (plan toka vrijednosti za održavanje)
<i>n</i>	Koeficijent toplinskog učinka radijatora
NN	Narodne novine
NO	Nazivni otvor
NO _x	Dušikovi oksidi
<i>NPV</i>	<i>Net Present Value Method</i> (metoda čiste sadašnje vrijednosti)
<i>NVAT</i>	<i>Not Value Added Time</i> (aktivnosti koje ne dodaju vrijednost, ali su neophodne za obavljanje procesa)
<i>PBP</i>	<i>Payback Period Method</i> (metoda razdoblja povrata)
<i>PDCA</i>	<i>Plan - Do - Check - Act</i>
<i>PDV</i>	Porez na dodanu vrijednost
<i>PEF</i>	<i>Primar energy factors</i> (faktor primarne energije)
<i>PI</i>	<i>Profitability Indeks</i> (metoda indeksa profitabilnosti)
<i>PTV</i>	Potrošna topla voda
RH	Republika Hrvatska
SAD	Sjedinjene američke države
<i>SCADA</i>	<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i> (računalni sustav za nadzor, mjerenje i upravljanje industrijskim sustavima)

SO ₂	Sumporni dioksid
SUPO	Sustav za upravljanje poslovima održavanja
<i>Tdov</i>	Temperatura u polazu - stara
<i>Tdovn</i>	Temperatura u polazu - nova
TE-TO	Termoelektrana-toplana
Tg	Tarifna grupa
TM	Tarifni model
<i>Tout</i>	Prosječna temperatura okoline cijevi
<i>Tp</i>	Temperatura u prostoriji - stara
<i>TPM</i>	<i>Total Productive Maintenance</i>
<i>Tipn</i>	Temperatura u prostoriji - nova
<i>Tpov</i>	Temperatura u povratu primara - stara
<i>Tpovn</i>	Temperatura u povratu primara - nova
<i>TPS</i>	<i>Toyota Production System</i> (Toyotin proizvodni sustav)
<i>Tro</i>	Prosječna temperatura u povratu - optimizirana
<i>Trt</i>	Prosječna temperatura u povratu - postojeće
<i>Ts</i>	Temperatura u polazu sekundara - stara
<i>Tsn</i>	Temperatura u polazu sekundara - nova
<i>Tso</i>	Prosječna temperatura u polazu - optimizirana
<i>Tst</i>	Prosječna temperatura u polazu - postojeće
Tuk	Ukupno vrijeme trajanja aktivnosti/procesa
<i>Tv</i>	Vanjska temperatura - stara
<i>Tvn</i>	Vanjska temperatura - nova
UN	Ujedinjeni narodi
<i>UNFCCC</i>	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i> (Okvirna konvencija Ujedinjenih naroda o promjeni klime)
<i>VAT</i>	<i>Value Added Time</i> (aktivnosti koje dodaju vrijednost)
VS	Vrelvodna podstanica
<i>VSM</i>	<i>Value Stream Mapping</i> (Plan toka vrijednosti)
<i>W</i>	Energija predana prostoru - postojeće stanje
<i>WACC</i>	<i>Weighted Average Cost of Capital</i> (ponderirani prosječni trošak kapitala)
<i>Wn</i>	Energija predana prostoru - optimizirano stanje
<i>WT</i>	<i>Waste Time</i> (aktivnosti koje predstavljaju čisti gubitak)

1. UVOD

Glavni cilj Okvirne konvencije Ujedinjenih naroda o promjeni klime (*UNFCCC*) je smanjenje i održanje koncentracija stakleničkih plinova u atmosferi na razinama koje neće opasno djelovati na klimatski sustav. Na temelju načela Okvirne konvencije usvojen je 1997. godine Kyotski protokol, koji je zacrtao smanjenje emisije za 5% u razvijenim zemljama svijeta u prvom obvezujućem razdoblju od 2008. do 2012. godine, u odnosu na 1990. godinu. Protokol se odnosio samo na razvijene zemlje, jer su one prepoznate kao najodgovornije za velike količine emisija stakleničkih plinova u atmosferu. Bio je to rezultat njihovih industrijskih aktivnosti u proteklom 150-godišnjem razdoblju, što je imalo za posljedicu porast globalne temperature za 0,8°C [1].

Emisije unutar Europske unije predstavljaju oko 10% ukupnih globalnih emisija tako da je potpisom protokola prihvaćeno smanjenje ukupnih emisija u EU-15 za 8% u prvom obvezujućem razdoblju [2]. Na UN-ovoj konferenciji o klimi održanoj u Cancunu 2010. godine postignut je sporazum o borbi protiv klimatskih promjena za razdoblje nakon 2012. godine (drugo obvezujuće razdoblje od 2013. do 2020. godine). Sporazum potiče države da pripreme nisko-ugljične strategije razvoja i ukazuje na to da klimatske promjene zahtijevaju izradu takvih dugoročnih strategija u duhu održivog razvoja s ciljem ograničavanja porasta globalne temperature do 2°C do kraja ovog stoljeća. Da bi se ostvario ovaj cilj potrebno je smanjiti emisije stakleničkih plinova u 2050. godini, u odnosu na razinu emisija u 1990. godini, za 80% do 95% u razvijenim državama svijeta.

Energija i gradovi prepoznati su kao prioritetna područja djelovanja kako bi se ostvarili zacrtani ciljevi. Najveći potrošači energije su gradovi, u njima se troši preko 70% ukupne svjetske energetske potrošnje, stvara 40% do 50% emisija stakleničkih plinova i zato

je uloga gradova u smanjenju emisija i održivom razvoju ključna [3]. Polovica potrošnje energije u gradovima odnosi se na grijanje i hlađenje, stoga svako rješenje za klimatske i energetske promjene mora sadržavati i rješenje za održivo urbano grijanje i hlađenje kako bi se smanjila prevelika potrošnja energije te tako stvorile pretpostavke za sigurne i konkurentne energetske sustave koji će doprinijeti održivom razvoju gradova.

Temeljem sporazuma iz Cancuna Europska unija je izradila Plan puta za prijelaz na konkurentno gospodarstvo s niskim udjelom ugljika do 2050. godine [4], u kojem se razmatraju scenariji potrebnog smanjenja emisija i daju smjernice za sektorske politike, te nacionalne i regionalne strategije razvoja. Prioritetne mjere u sektoru energetike odnose se na povećanje energetske učinkovitost, povećanje udjela obnovljivih izvora energije te izdvajanje i skladištenje CO₂ u fosilnim elektranama. Prioritetne mjere u zgradarstvu odnose se na smanjenje toplinskih gubitaka postojećih zgrada, energetski učinkovite sustave grijanje i hlađenja, nove zgrade blizu nulte energetske potrošnje, individualno mjerenje potrošnje, sustave pametnog upravljanja zgradama i obnovljive izvore energije u kućanstvima.

Zaokret prema niskougljičnom gospodarstvu dugotrajan je i veliki izazov, ali i prilika za stvaranje novih radnih mjesta, pokretanje investicija, zelene poslove, povećanje konkurentnosti i gospodarski rast. Europska unija dala je temeljne smjernice za niskougljični razvoj, a svaka država mora usvojiti vlastite smjernice, pravila i ciljeve u okviru kojih će ispuniti zacrtana smanjenja stakleničkih plinova. Stvaranje uvjeta za razvoj i širenje sustava daljinskog grijanja i hlađenja će zasigurno pridonijeti većem broju obnovljivih izvora, održivosti energetskog sustava i boljoj energetskej budućnosti.

Prilagođavanje regulativi Europske unije u sektoru energetike i zaštite okoliša nameće potrebu za usklađivanjem strategija razvoja pojedinih sektora u Republici Hrvatskoj (energetike i industrije, prometa, poljoprivrede, gospodarenje otpadom, zemljišta i šumarstva, zgradarstva i turizma). Analize i procjene u [5] su pokazale da je okvirne ciljeve smanjenja emisija stakleničkih plinova za 80% do 2050. godine u Hrvatskoj moguće smanjiti uz **značajne strukturalne promjene** u svim sektorima te uz **promjene obrasca ponašanja**, što je temeljni preduvjet uspjeha. Da bi područje toplinarstva (daljinskog grijanja) unutar sektora energetike imalo značajniju ulogu u ostvarenju ovih ciljeva potrebno je stvoriti određene preduvjete za modernizaciju, razvoj i širenje postojećih sustava daljinskog grijanja, koristeći pri tome odgovarajuće pristupe, metodologije i tehnike.

1.1. Motivacija za istraživanje

Sa sigurnošću možemo reći da je promjena obrasca ponašanja prijeko potrebna u gotovo svim područjima našeg društva kako bi se pokušao pronaći put za izlazak iz krize i gospodarski oporavak. Da je to moguće primjer su tvrtke iz našeg okruženja koje su to prepoznale i prije nekoliko godina krenule u promjene primjenjujući osnove *Lean* upravljanja. Ostvarili su značajna poboljšanja u svom poslovanju, eliminirajući poremećaje i gubitke u poslovnim procesima, što je u konačnici rezultiralo stvaranjem proizvoda i usluga bolje kvalitete uz korištenje manje rada, prostora, kapitala i vremena. Sudjelujući na 3. Konferenciji o zelenoj i vitkoj proizvodnji *GALP 2013*, u sklopu koje je bio organiziran posjet dvjema tvrtkama (Končar – Energetski transformatori i Županijske ceste Zagrebačke županije), imao sam priliku vidjeti primjenu *Lean-a* u praksi u proizvodnoj i uslužnoj djelatnosti. Bio je to motiv da se istraži kakve se promjene i poboljšanja mogu učiniti u djelatnosti distribucije toplinske energije u sustavima daljinskog grijanja primjenjujući *lean* načela, i koliko to može doprinijeti ostvarenju postavljenih energetske-klimatskih ciljeva.

Pretraživanjem znanstvenih baza nisu pronađeni radovi koji govore o primjeni *Lean-a* u djelatnosti distribucije toplinske energije, što je također bio jedan od dodatnih motiva za istraživanje i primjenu spoznaja u oblikovanju modela praćenja učinkovitosti procesa ove djelatnosti.

1.2. Cilj i hipoteza istraživanja

Na temelju *lean* načela prikazat će se i analizirati energetska učinkovitost kao tok vrijednosti u djelatnosti distribucije toplinske energije. Izradit će se model praćenja učinkovitosti procesa distribucije toplinske energije koji bi trebao poslužiti i pomoći energetskim subjektima za distribuciju u provođenju potrebnih mjera i aktivnosti na racionalizaciji i optimizaciji poslovanja. Povećanje učinkovitosti sustava, smanjenje potrošnje primarne energije i smanjenje emisija stakleničkih plinova pridonijet će podizanju kvalitete usluge i zadovoljstva kupaca priključenih na toplinske sustave.

Hipoteza istraživanja glasi: primjenom *lean* načela u energetske djelatnosti distribucije toplinske energije može se povećati učinkovitost ove djelatnosti.

1.3. Metodologija i plan istraživanja

Opisat će se osnovne značajke i procesi energetske djelatnosti distribucije toplinske energije u sustavima daljinskog grijanja, istaknuti problemi koji utječu na neučinkovitost djelatnosti te postaviti ciljevi istraživanja. Na temelju spoznaja i primjera prikazanih u znanstvenim radovima iz područja distribucije toplinske energije analizirat će se:

- aktivnosti koje najviše pridonose povećanju energetske učinkovitosti i
- relevantni pokazatelji učinkovitosti procesa distribucije (toplinski gubici, gubici vode zbog nadopune mreže i emisije stakleničkih plinova).

Istraživanje znanstvenih radova iz područja *Lean-a* poslužit će za:

- analizu primjenjivosti *lean* načela u sustavima daljinskog grijanja
- određivanje *lean* i *green* gubitaka u procesu distribucije toplinske energije
- prikaz energetske učinkovitosti kao toka vrijednosti u djelatnosti distribucije toplinske energije i postavljanje energetske *VSM* mape
- odabir odgovarajućih *lean* alata i tehnika koji se mogu primijeniti u procesu distribucije toplinske energije.

Na temelju provedenih istraživanja oblikovat će se model praćenja učinkovitosti procesa distribucije toplinske energije primjenom *lean* načela **LEGREM-DHE** (**LEan GReen Efficiency Model - Distribution of Heat Energy**), koji će se testirati na sustavu daljinskog grijanja u gradu Osijeku. Uvažavajući specifičnosti djelatnosti distribucije toplinske energije, primijenit će se odgovarajući *lean* alati i tehnike kroz odabrane aktivnosti za uklanjanje i smanjenje gubitaka iz energetskog procesa distribucije te odrediti metrika za praćenje ključnih pokazatelja procesa.

1.4. Opis poglavlja

U uvodnom poglavlju navedeni su motivi za istraživanje, postavljeni su cilj i hipoteza istraživanja te određena metodologija i plan istraživanja.

Drugo poglavlje sadrži pregled dosadašnjih istraživanja u područjima daljinskog

grijanja i *Lean-a* kako bi se vidjelo koje se promjene i poboljšanja mogu učiniti uvođenjem *Lean* razmišljanja u upravljanje energetskim procesom distribucije toplinske energije u sustavima daljinskog grijanja.

U trećem poglavlju date su osnovne značajke, prednosti i nedostaci daljinskog grijanja. Opisan je razvoj generacija sustava daljinskog grijanja i prikazano stanje toplinarstva u Europskoj uniji i Republici Hrvatskoj.

Četvrto poglavlje prikazuje osnove, povijest i razvoj *Lean-a*. Navode se *lean* gubici i osnovna načela *Lean* razmišljanja te najznačajniji *lean* alati i tehnike za uklanjanje gubitaka i poboljšanje procesa. Također su prikazane osnovne značajke *Green* pristupa, opisani *green* gubici i osnovni alati *green* proizvodnje.

U petom poglavlju opisane su toplinske djelatnosti (proizvodnja, distribucija i opskrba toplinskom energijom) i procesi u distribucije toplinske energije. Određeno je značenje osnovnih *lean* načela te su mapirani *lean* i *green* gubici u distribuciji toplinske energije.

U šestom poglavlju je, na temelju provedenih istraživanja, oblikovan model za praćenje učinkovitosti procesa distribucije toplinske energije primjenom *lean* načela.

Sedmo poglavlje prikazuje testiranje postavljenog modela na procesu distribucije toplinske energije u centralnom vrelovodnom toplinskom sustavu grada Osijeka.

U zaključku se navode glavni rezultati provedenog istraživanja, ostvareni znanstveni doprinosi te mogućnosti za nastavak i daljnja istraživanja o primjeni *Lean* i *Green* pristupa u području daljinskog grijanja.

2. STANJE I PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Pretraživanjem znanstvenih baza nisu pronađeni radovi koji obrađuju područje primjene *lean* načela u djelatnosti distribucije toplinske energije u sustavima daljinskog grijanja. Vrlo malo je radova i o primjeni *Lean-a* u ostalim energetske djelatnostima te su stoga istražena oba ova područja, distribucija toplinske energije u sustavima daljinskog grijanja te primjena *Lean-a* u proizvodnim i uslužnim djelatnostima, kako bi se vidjelo koje se promjene i poboljšanja mogu učiniti uvođenjem *Lean* razmišljanja u upravljanje energetskim procesima u ovoj djelatnosti.

Usmjeravanje pozornosti na nužnost smanjenja i ublažavanja klimatskih promjena te povećanje brige o zaštiti okoliša doprinijelo je razvoju *Green* pristupa, koji analizira potrošnju energije i ostalih *green* elemenata u proizvodnim i uslužnim procesima. Teži se povećanju energetske učinkovitosti, smanjenju potrošnje energije i povećanju udjela obnovljivih izvora kako bi se smanjile emisije štetnih plinova. Istraženi su i radovi koji govore o tome koliko *Lean* doprinosi smanjenju potrošnje energije i drugih *green* elemenata, te o povezanosti i sinergiji između ova dva pristupa.

U ovom radu pozornost je usmjerena samo na učinkovitost procesa distribucije toplinske energije kojeg se promatra u čisto energetskom (tehnoškom) smislu. Imajući u vidu širinu i univerzalnost *lean* načela, promatrati se može i njihova primjena u ostalim procesima koje ova djelatnost obuhvaća (eksploatacija, održavanje, razvoj i izgradnja, ekonomski i pravni poslovi) kako bi se vidjelo koja se daljnja poboljšanja mogu postići. No, to nije predmet ovog istraživanja, nego predstavlja prostor za mogući nastavak.

2.1. Područje distribucije toplinske energije

U području distribucije toplinske energije u sustavima daljinskog grijanja istraženi su radovi koji obrađuju slijedeće teme vezane za učinkovitost ove djelatnosti:

- snižavanje temperatura ogrjevnog medija [6-7],
- upravljanje toplinskim gubicima [8],
- revitalizacija distribucijske toplinske mreže [9],
- optimiziranje daljinskog grijanja [10],
- mapiranje toplinskih potreba, smanjenje potrošnje toplinske energije zbog energetske obnove zgrada i širenje daljinskog grijanja na područja niže toplinske gustoće [11-12],
- kogeneracijska postrojenja u sustavima daljinskog grijanja [13]
- korištenje obnovljivih izvora i otpadne topline [14],
- uloga daljinskog grijanja u smanjenju emisija stakleničkih plinova [15] i
- razvoj niskotemperaturnih sustava daljinskog grijanja (sustava četvrte generacije) [16].

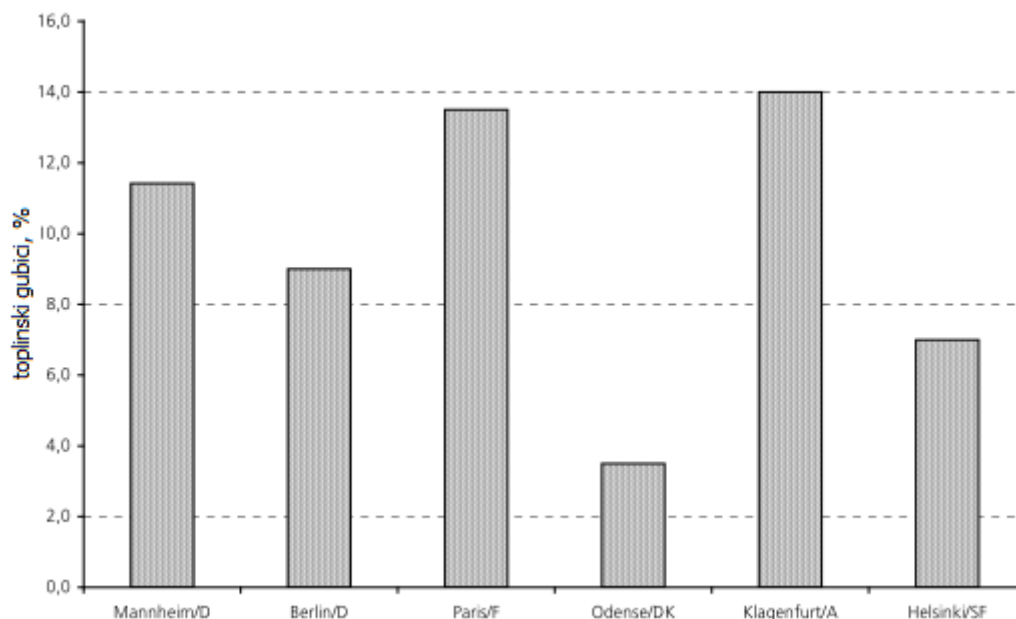
Jedna od najvažnijih odluka kod projektiranja novog sustava daljinskog grijanja je odabir nominalnog temperaturnog režima. Za različite temperature polaza (od 90°C do 70°C) i povrata ogrjevnog medija (55°C do 30°C) u niz studija slučaja, prikazanih u [6], analizirani su troškovi izgradnje toplinske mreže, toplinskih podstanica i unutarnjih instalacija grijanja u različitim tipovima zgrada (višestambene zgrade, kuće u nizu i poslovne zgrade) u dva klimatska područja (London i Toronto) te troškovi proizvodnje toplinske energije iz različitih kogeneracijskih izvora. Pokazano je da se ne isplati projektne temperature polaza smanjivati ispod 90°C, jer su onda niže temperaturne razlike što ima za posljedicu veće troškove izgradnje mreže, toplinskih podstanica i unutarnjih instalacija. Optimalna razlika temperatura je oko 35°C što znači da je temperatura povratnog voda 55°C. Dodatne analize pokazale su da bi snižavanje temperature polaza s 90°C na 70°C rezultiralo porastom ukupnih troškova toplinske energije za 4% do 6%, što u nekim slučajevima može biti opravdano ako se želi omogućiti korištenje otpadne topline i niskotemperaturnih obnovljivih izvora u proizvodnji toplinske energije (niže polazne temperature znače i niže povratne temperature što je preduvjet da se ovi izvori mogu koristiti).

Ovaj rad [6] objavljen je 1999. godine i prikazuje stanje koje je u to vrijeme bilo karakteristično za moderne sustave treće generacije sustava daljinskog grijanja.

U [7] su uspoređena dva sustava daljinskog grijanja, jedan u Njemačkoj (Friesenheim, Badenova) koji ima temperaturu povratnog voda 60°C , i drugi u Danskoj (Skagen) s povratnom temperaturom 40°C . Analiza i istraživanje obuhvatilo je proizvodna postrojenja, prijenosnu i distribucijsku mrežu, toplinske podstanice i unutarnju instalaciju grijanja u zgradama. Oba sustava imaju slična kogeneracijska proizvodna postrojenja i toplinsku mrežu koja je izvedena predizoliranim cijevima položenim podzemno. Glavne razlike su u unutarnjoj instalaciji grijanja i PTV-a u zgradama. U Njemačkoj je projektna temperatura polaznog voda za pripremu PTV-a 70°C , dok je u Danskoj 60°C . Niže temperature povrata doprinijet će smanjenju gubitaka cijelog sustava daljinskog grijanja i povećati njegovu učinkovitost. Da bi se krajnji kupci zainteresirali za postizanje nižih povratnih temperatura primijenjen je model obračuna potrošnje toplinske energije prema kojem, u slučaju da se ogrjevni medij iz zgrade vraća u mrežu s temperaturom višom od 50°C , potrošači plaćaju kao da je povratna temperatura 50°C tj. platit će i dio energije koji u stvarnosti nisu potrošili. Ako je povratna temperatura ispod 50°C taj dio energije im se neće obračunati tj. besplatan je i na taj način ih se potiče da sudjeluju u snižavanju temperatura povrata toplinske mreže daljinskog grijanja. Ovo je osobito privlačno za zgrade koje se priključuju na toplinski sustav i koje mogu projektirati i dimenzionirati svoje unutarnje instalacije grijanja tako da se primjene niskotemperaturni režimi rada što će im onda omogućiti da dobar dio toplinske energije koriste besplatno.

U [8] je prikazan izračun toplinskih gubitaka u predizoliranim cijevima ovisno o starosti i načinu izvedbe cjevovoda (jednostruke cijevi, dvostruke i fleksibilne cijevi), te određivanje ekonomske debljine izolacije. Za što točnije izračune treba uzeti u obzir pogoršanje stanja izolacije tijekom vremena kao rezultat starenja poliuretanske pjene, u protivnom, gubici se mogu podcijeniti i do 20%. Većina toplinskih gubitaka javlja se na cijevima manjih nazivnih promjera. Preporuča se kod izračuna optimalne debljine izolacije u graničnim slučajevima (troškovi veći za 10% do 20% od optimalnih) odabrati sljedeći viši standard izolacije jer se očekuje da će troškovi energije u budućnosti rasti. Toplinski gubici u mreži definiraju se kao razlika toplinske energije koja ulazi u mrežu i energije koja se predaje potrošačima u toplinskim podstanicama, a iskazuju se u postocima u odnosu na energiju koja ulazi u mrežu. U nekim sustavima (npr. u Finskoj) se ovaj postotak naziva i toplinska učinkovitost distribucije. Obično se toplinski gubici u mreži kreću u rasponu od 6% do 17%. Na Slici 2.1. prikazani su gubici u šest europskih gradova, uz napomenu da nije jednostavno uspoređivati gubitke različitih sustava, a ne uzeti pri tome u obzir brojne čimbenike koji na

njih utječu (veličinu i strukturu mreže, toplinsku gustoću područja, radne temperature, broj sati rada sustava, način mjerenja i dr.).



Slika 2.1. Toplinski gubici u mrežama daljinskog grijanja europskih gradova [8]

Obradeni su svi faktori koje je potrebno uzeti u obzir kod toplinskih gubitaka pojedine mreže daljinskog grijanja kako bi bila usporediva s drugim sustavima i dana je formula za izračun gubitaka. Nužno je u određenim razdobljima (svakih 5 godina) provoditi redovita ispitivanja stanja toplinske izolacije cjevovoda te provjeravati tehničke i ekonomske parametre koji utječu na izbor optimalne debljine izolacije kako bi se postojeće stanje moglo dobro procijeniti u odnosu na važeće standarde i zahtjeve. Analizirane su pojedine mjere za smanjenje toplinskih gubitaka u mreži: snižavanje polazne i povratne temperature, toplinska izolacija cjevovoda u oknima te smanjenje gubitaka vode. Koliki je financijski značaj smanjenja toplinskih gubitaka u distribucijskoj mreži navodi se na primjeru njemačkog grada Mannheima, gdje gdje smanjenje gubitaka topline s 12% na 11% rezultira uštedama od oko 200.000 €/godišnje.

Iako sustavi daljinskog grijanja predstavljaju učinkovitu infrastrukturu za opskrbu energijom, brojni su gubici u radu sustava, osobito u gospodarstvima u tranziciji. U cilju pomoći privatnom sektoru i drugim financijskim institucijama kod donošenja odluke o ulaganju u revitalizaciju sustava daljinskog grijanja u gospodarstvima u tranziciji, u disertaciji [9] analizirano je pet gotovih projekata revitalizacije provedenih u Poljskoj iz kredita Svjetske banke u razdoblju od 1991. do 2001. godine. Procijenjeni su odnosi između pojedinih

provedenih aktivnosti (materijalnih mjera) i ostvarenih koristi. Napravljena je ekonomska analiza ovih projekata i procjena utjecaja na okoliš. Kako bi se procijenio utjecaj i korist od nematerijalnih mjera (obrazovanje, suradnja, mala ulaganja u informatičke tehnologije i obavljanje poslova održavanja) na uspješnost revitalizacije, provedena je anketa među ključnim stručnjacima u poduzećima u kojima je sustav daljinskog grijanja revitaliziran. Na temelju rezultata ovih analiza o prednostima koje se ostvaruju materijalnim i nematerijalnim mjerama izrađen je model za strateško planiranje revitalizacije. Model daje optimalnu strategiju revitalizacije za svaki sustav kada se radi o ulaganjima u razvoj kogeneracijskih postrojenja, zamjenu toplinske mreže, podstanica, termoregulacijskih ventila, armature, ugradnju frekvencijske regulacije na crpke, ugradnju mjerila, razdjelnika i termostatskih radijatorskih ventila, uključujući i navedene nematerijalne mjere. Provođenje ovih mjera doprinijet će smanjenju potrošnje toplinske i električne energije, gubitaka vode, emisija dimnih plinova, troškova održavanja i potrebe za dodatnim proizvodnim kapacitetima. Sve ove mjere su nužne i preduvjet su kako bi se potrošačima osigurao učinkovit, udoban i pouzdan sustav daljinskog grijanja, te pružila usluga koja ispunjava zahtjeve ekonomičnosti, dostupnosti, tehničke izvedbe i održivosti okoliša, što je i krajnji cilj revitalizacije.

U [10] je prikazano kako se pomoću sustava za daljinsko očitavanje mjerila toplinske energije i kontrolu rada opreme u toplinskoj podstanici može upravljati potrošnjom krajnjih kupaca, što doprinosi optimiziranju i povećanju učinkovitosti sustava daljinskog grijanja. Ugradnja elektroničkih mjerila toplinske energije u podstanice daje mogućnost dobivanja točnih i detaljnih operativnih podataka o radu podstanice. Razvoj informatičkih i komunikacijskih tehnologija rezultirao je nizom sustava za daljinsko očitavanje i upravljanje opremom u podstanicama. Preuzeta su iskustva iz područja daljinskog očitavanja električnih brojlara kod kojih je, uz očitavanje, glavna svrha bila smanjenje vršne potrošnje. U ovom radu prikazano je nekoliko metoda i algoritama s ciljem da se omogući operatoru daljinskog grijanja da upravlja potrošnjom u podstanicama krajnjih potrošača. Ovakva komunikacija omogućuje i otkrivanje neučinkovitih potrošača kod kojih se onda provode analize i poduzimaju potrebne mjere kako bi se otklonili problemi. Podaci o parametrima ogrjevnog medija očitani s mjerila toplinske energije u podstanicama koriste se u algoritmu za izračun temperaturnog i hidrauličkog režima mreže s ciljem smanjenja povratne temperature. Pored daljinskog očitavanja mjerila, paralelno se razvijao i sustav za kontrolu rada i upravljanje opremom u podstanicama (crpke, ventili i regulatori). Tako je operatoru sustava daljinskog grijanja dostupna veća količina korisnih informacija što mu omogućuje kvalitetniju regulaciju

parametara ogrjevnog medija i optimiziranje na temelju stvarnih vrijednosti, s ciljem povećanja učinkovitost čitavog sustava.

Skandinavska tvrtka Fortum Heat upravlja sustavima daljinskog grijanja u šest zemalja: Finska, Švedska, Norveška, Estonija, Latvija i Poljska. U [11] su prikazane mogućnosti korištenja *GIS-a* unutar ove tvrtke, od kojih su najznačajnije: zemljopisna i tehnička dokumentacija (točan položaj cijevi i ostalih komponenti toplinske mreže), vizualizacija, upravljanje održavanjem, pronalaženje novih potrošača, prodaja toplinske energije, komunikacija s kupcima, analiza rizika i dr. Budući da je vijek trajanja toplinske mreže 50-ak godina, vrlo je bitno imati točnu i urednu dokumentaciju. Osnovno načelo je da se podaci upisuju samo jednom u bazu podataka *GIS-a*, odakle se prenose u druge sustave (za optimiziranje, upravljanje održavanjem, financijsko-knjigovodstveno vođenje i dr.). Stoga je bitno da su podaci u *GIS-u* točni jer su ulazni podaci za kasnije izračune i izrade različitih modela (termodinamičkih, hidrauličkih i dr.). Sustav upravljanja održavanjem treba sadržavati digitalizirane karte mreže i popis osnovnih sredstava u kojem se nalaze svi dijelovi toplinske mreže. Sustav automatski generira radne naloge za obavljanje poslova preventivnog održavanja, potrebne inspekcijske preglede i druge aktivnosti koje na postrojenju treba obaviti u predviđenom roku u skladu s propisanom regulativom. Kontinuirano se izračunavaju i ažuriraju odgovarajući indeksi rizika za cjevovode obzirom na njihovu starost i stanje, izrađuju se standardizirana izvješća o svim događajima i stanju postrojenja, značajno se smanjuje vrijeme utrošeno na obavljanje administrativnih poslova i pretraživanje kako bi se došlo do traženih podataka. Radne naloge moguće je pretraživati po pojedinim dijelovima postrojenja, područjima ili statusu obavljenih i naručenih poslova. Ovo omogućuje da se poslovi održavanja u svim dijelovima tvrtke Fortum Heat obavljaju na isti način i po istom predlošku. Sustav za upravljanjem poslovima održavanja povezan je sa stanjem zaliha na skladištu, zatim s modulima za upravljanje financijskim poslovanjem i nabavom te omogućuje generiranje dokumentacije za nabavu potrebne robe, radova ili usluga izravno iz karte *GIS-a*, što pojednostavnjuje proceduru i skraćuje vrijeme nabave. Sve ove aplikacije moguće je staviti i na mobilne uređaje tako da inženjeri i tehničari poslove održavanja mogu obavljati na licu mjesta kada za to postoji potreba. *GIS* se može koristiti i za pronalaženje novih potrošača koristeći informacije iz zemljišnih knjiga (katastarske čestice, objekti i vlasnici) o područjima na koja se razmatra širenje daljinskog grijanja. Tako se izrađuju brže i točnije analize opravdanosti kao podloge za donošenje odluke o proširenju sustava. Podaci se mogu koristiti i za ciljani marketing prema potencijalnim potrošačima kako bi ih se upoznalo

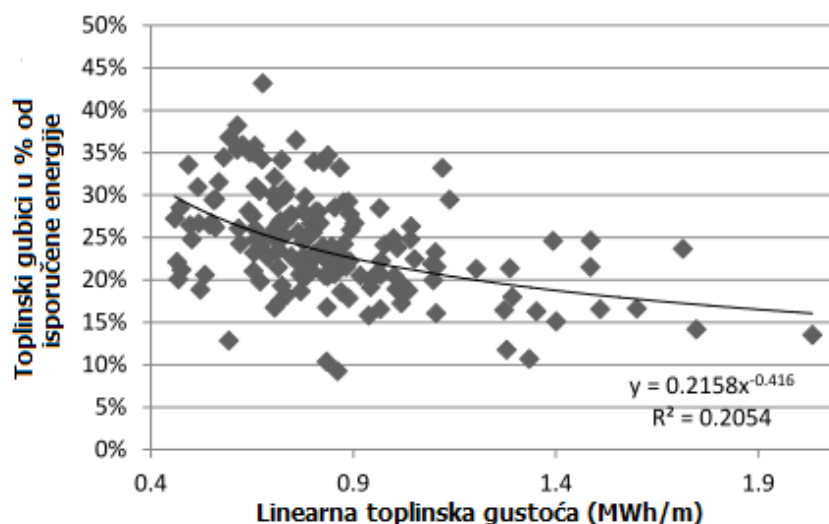
sa svim prednostima daljinskog grijanja i zainteresiralo za priključenje. Ove informacije će biti korisne i osoblju koje radi u prodaji toplinske energije kada su im potrebni podaci o određenim nekretninama i njihovim vlasnicima. Kao glavni problem istaknuto je da se većina poslova u komunikaciji s kupcima u skandinavskim zemljama obavlja ručno tako da je potrebno dosta vremena i povećava se rizik od pogreške. U odnosima s kupcima procesi trebaju biti usklađeni i automatizirani kako bi se smanjio rizik pogreške i vrijeme trajanja administrativnih poslova. *GIS* pomaže u komunikaciji s kupcima kojima je obustavljena isporuka toplinske energije. U situacijama kada su pojedine dionice mreže zatvorene i dolazi do prekida opskrbe toplinskom energijom ispisuju se potrošači koji ostaju bez grijanja kako bi ih se pravovremeno moglo obavijestiti, osobito one kategorije kupaca koje su osjetljivije na obustavu isporuke toplinske energije. Preporuka je da kupac odabere na koji način želi biti obaviješten u takvim situacijama (SMS poruka, mail i dr.). Ova usluga je dobra, potrebno ju je marketinški približiti kupcima kako bi znali da postoji i kako bi je mogli koristiti.

Istraživanja u doktorskoj disertaciji [12] prikazuju koje korake je u sektoru toplinarstva u Danskoj potrebno napraviti kako bi se stvorili preduvjeti za postignuće zacrtanih ciljeva da do 2035. godine sva toplinska (i električna) energija bude proizvedena iz obnovljivih izvora. Proizvodnja energije će se temeljiti prvenstveno na vjetru i biomasi, a kod krajnjih korisnika potrebno je provesti mjere koje će rezultirati uštedama u potrošnji toplinske energije. Da bi se to postiglo sve lokalne uprave u Danskoj moraju izraditi planove za provedbu energetske strategije. Prvi veliki korak u izradi ovih strateških planova je mapiranje energetske potrebe i mogućnosti korištenja obnovljivih izvora na lokalnoj razini. Potrebne su nove metode i modeli mapiranja kako bi se poboljšalo planiranje i dobila što bolja podloga za donošenje odluka. Istražene su teme vezane za moguće promjene u sustavima daljinskog grijanja i zgradarstva kako bi se ostvarila željena tranzicija k energetskom sustavu sa 100% obnovljivim izvorima. Pokazuje se sljedeće:

- višak toplinske energije proizveden iz obnovljivih izvora u zgradama može se koristiti u sustavu daljinskog grijanja, kako u onim područjima gdje se toplinska energija za sustav proizvodi iz fosilnih goriva ili biomase, tako i u područjima gdje se već koriste obnovljivi izvori, uz preporuku izgradnje spremnika toplinske energije
- samo mali udio u ukupnoj potrošnji toplinske energije u 2050. godini bit će u novim zgradama (2% do 5%, jer od 2020. godine se trebaju graditi zgrade s gotovo nultom potrošnjom energije), a ostatak će se odnositi na postojeće zgrade

- u studiji slučaja za sustav daljinskog grijanja u području grada Aarhusa pokazuje se da su, dugoročno gledajući, opravdana ulaganja u energetska obnova zgrada ona kojima se postiže smanjenje potrošnje toplinske energije od oko 50%, što će omogućiti značajne uštede zbog manjih potreba za investiranjem u nove proizvodne izvore i zbog manje potrošnje goriva
- veća smanjenja potrošnje su manje isplativa, no ti podaci su specifični za svaki sustav daljinskog grijanja i ponajviše ovise o troškovima proizvodnje toplinske energije.

Razvijena je metoda za procjenu troškova širenja sustava daljinskog grijanja koja koristi *GIS* modele sa svim potrebnim podacima o zgradama kako bi se mogao izraditi toplinski atlas promatranog područja na kojeg se sustav daljinskog grijanja želi proširiti. Korištenjem ovog modela pokazalo se da, bez obzira na visoki udio daljinskog grijanja u Danskoj od oko 50% i na planirano značajno smanjenje potrošnje toplinske energije u postojećim zgradama, postoji potencijal za daljnje širenje daljinskog grijanja. Preduvjet za to je modernizacija sustava daljinskog grijanja koja će obuhvatiti korištenje obnovljivih izvora u proizvodnji toplinske energije te smanjenje gubitaka i poboljšanje učinkovitosti u distribuciji primjenom niskotemperaturnih toplinskih mreža. Na Slici 2.2. su prikazani toplinski gubici u danskim sustavima daljinskog grijanja (prosječni gubitak je 25% u odnosu na isporučenu energiju).



Slika 2.2. Toplinski gubici u danskim sustavima daljinskog grijanja [12]

U [13] je prikazano kako kogeneracijska proizvodna postrojenja, s različitim tehnologijama i izvorima primarne energije, utječu na sustav daljinskog grijanja u pogledu proizvodnje toplinske energije i emisija CO₂. Rezultati pokazuju da se proizvodnjom električne energije u visokoučinkovitim plinskim kombi kogeneracijskim postrojenjima

značajno može smanjiti utjecaj na okoliš, u usporedbi s referentnom kondenzacijskom elektranom na ugljen. Najveći dobici u zaštiti okoliša i u ekonomskom pogledu za sustav daljinskog grijanja postižu se povećanjem cijena električne energije u kombinaciji sa smanjenom cijenom plina. Rezultati potvrđuju, kroz primjere prikazane u radu, da korištenje otpada kao goriva u kogeneracijskim jedinicama doprinosi najnižim troškovima poslovanja sustava daljinskog grijanja. Pokazuje se i potencijal za proširenje daljinskog grijanja na područja s nižom toplinskom gustoćom uz ekološku i ekonomsku opravdanost. Najznačajniji faktori koji utječu na profitabilnost povezivanja toplinski prorijeđenih područja na sustav daljinskog grijanja s kogeneracijskim postrojenjem su cijene električne energije i goriva, te instrumenti kao što su uvođenje dodatnih poreza na emisije CO₂ i trgovanje emisijama. Cijena emisijskih jedinica ima direktan utjecaj na izbor tehnologije kogeneracijskog postrojenja, što daje prednost biomasi pred prirodnim plinom, a također potiče na korištenje komunalnog otpada i obnovljivih izvora u proizvodnji toplinske energije.

Ključna prednost sustava daljinskog grijanja je u mogućnosti korištenja toplinske energije proizvedene u obnovljivim izvorima i korištenja otpadne topline [14], što značajno pridonosi smanjenju potrošnje primarne energije i emisija stakleničkih plinova. U radu je prikazan način procjene mogućnosti uklapanja obnovljivih izvora energije i otpadne topline (biomasa, otpadna topline iz industrijskih postrojenja, spalionice komunalnog otpada, solarni izvori i geotermalni izvori) u postojeće ili potencijalne sustave daljinskog grijanja, uzimajući u obzir pri tome temeljna pitanja koja se odnose na radne temperature i dostupnost izvora te ekonomske i ekološke kriterije. Vrlo bitno je na kojoj temperaturi je izvor raspoloživ i kako se može uklopiti u temperaturni režim toplinske mreže. Neki izvori, kao što je biomasa, mogu se upotrijebiti za proizvodnju ogrjevnog medija bilo kojih temperatura koje sustav zahtijeva. Što su niže temperature u sustavima daljinskog grijanja to su veće mogućnosti korištenja različitih obnovljivih izvora. Izvori su podijeljeni u tri skupine ovisno o njihovim temperaturama:

- izvori visokog stupnja postižu temperature koje su uvijek više od temperatura polaznog voda toplinske mreže (mogu se koristiti izravno kada god je to sustavu potrebno)
- izvori niskog stupnja postižu temperature koje su ponekad ili uvijek niže od polaznih temperatura, ali su uvijek više od povratnih temperatura i
- izvori koji uvijek ostvaruju temperature niže od temperature povratnog voda.

Sve dok je temperatura iz obnovljivih izvora viša od povratne temperature toplinske mreže obnovljivi izvori se mogu koristiti izravno, uz napomenu da je nužno uvijek osigurati

određenu razliku temperatura između izvora i mreže potrebnu za rad izmjenjivača topline. U suprotnom, potrebno je dograditi dizalicu topline, ili pak postojeći temperaturni režim mreže sniziti određenim poboljšanjima i optimiziranjima ako je to moguće i opravdano. Korisno je ispitati koliko svaki od kupaca doprinosi razlici temperatura u mreži, poticati ih kroz tarifni sustav da koriste niskotemperaturne režime u svojim unutarnjim instalacijama grijanja te tako ostvaruju što niže povratne temperature. Sustavi daljinskog grijanja omogućuju optimalno korištenje dizalica topline pretvarajući iznimno niske temperaturne resurse, kao što su podzemne vode ili otpadne vode, u korisnu toplinsku energiju. Vrlo bitan čimbenik kod dimenzioniranja obnovljivih izvora, osobito povremenih (kao što su sunce i vjetar), je njihova dostupnost. Preporuka je uz obnovljive izvore dograditi spremnik topline kako bi se maksimalno iskoristio kapacitet izvora i povećala fleksibilnosti sustava. Zaključuje se da je, bilo da se radi o novom ili postojećem sustavu daljinskog grijanja i hlađenja, nužno napraviti analizu uklapanja obnovljivih izvora kako bi se vidjelo koliko je to opravdano i ostvaruju li se ciljevi koji se time žele postići. Za bilo koji projekt obnovljivih izvora ključna je transparentnost kako bi se osiguralo *win-win* rješenje za prodavatelja i kupca toplinske energije. U velikim sustavima daljinskog grijanja, koji imaju više obnovljivih izvora, bitno je kroz regulativu osigurati prvenstvo isporuke u mrežu energije proizvedene iz ovih izvora.

U [15] je razvijen postupak za analizu potencijala mjera učinkovitosti koje doprinose uštedama u potrošnji primarne energije i smanjenju utjecaja na globalno zagrijavanje različitih sustava daljinskog grijanja i hlađenja. Metoda je pouzdana i transparentna, izračunava pokazatelje energetske učinkovitosti za različite energetske lance i sustave kako bi se mogao odabrati najpovoljniji:

- faktor potrošnje primarne energije (*PEF*), koji se definira kao omjer ukupno potrošene primarne energije i isporučene energije, i
- koeficijent utjecaja na globalno zatopljenje ($\text{CO}_2\text{-eq}$), pomoću kojeg se iskazuju emisije svih stakleničkih plinova.

Ocjena energetske učinkovitosti obično se promatrala samo kroz energetske pokazatelje, no nova metoda mora uzeti u obzir cijeli energetski lanac, uključujući i infrastrukturu. Analizirani su procesi u proizvodnom lancu sustava daljinskog grijanja i hlađenja kako bi se procijenio utjecaj svakog koraka na izračun ovih pokazatelja, koji se temelji na uporabi analize životnog ciklusa proizvoda (*LCA*).

Prikazane su studije slučaja za različite sustave daljinskog grijanja i hlađenja s kogeneracijskim proizvodnim postrojenjima, u kojima su analizirana dva scenarija:

- granični, koji opisuje što se u sustavu događa ako se proizvodi samo električna ili toplinska energija, i pri tome se koristi bonus metoda za raspodjelu potrošene primarne energije na proizvedenu električnu i toplinsku energiju (za proizvedenu električnu energiju se uzima pripadajući dio potrošene primarne energije kao u graničnom slučaju kada se proizvodi samo električna energija, a ostatak potrošene primarne energije se odnosi na toplinsku energiju), i
- prosječni, koji se temelji na prosječnim godišnjim podacima i služi za knjigovodstvene potrebe te različita izvješća o emisijama i dr., a pri tome se koristi alternativna metoda za raspodjelu potrošene primarne energije (potrošena primarna energija se raspodjeljuje prema proporcionalnim udjelima goriva potrebnog za proizvodnju istih količina električne i toplinske energije u odvojenim postrojenjima).

Simulirani su različiti temperaturni režimi toplinske mreže kako bi se procijenile mogućnosti poboljšanja učinkovitosti kogeneracijskog postrojenja koja se postižu optimiziranjem temperatura sustava daljinskog grijanja i hlađenja. Studije slučaja pokazuju da odabir metode raspodjele ima presudan utjecaj na krajnje rezultate za emisije stakleničkih plinova i korištenje primarne energije u sustavima daljinskog grijanja s kogeneracijskim postrojenjima.

Temeljem dosadašnjih iskustava i stečenih znanja, opisanih u prikazanim radovima iz područja daljinskog grijanja, provode se istraživanja čiji cilj je razviti odgovarajuća rješenja koja će biti upotrebljiva za široku primjenu i izgradnju sustava četvrte generacije daljinskog grijanja s vrlo niskim temperaturama ogrjevnog medija [16]. Značaj ovakvih sustava je u proširenju dostupnosti i iskorištavanju lokalnih izvora korisne energije, uključujući obnovljive izvore i otpadnu toplinu. Razmatraju se niskotemperaturni sustavi u novim niskoenergetskim zgradama uz održavanje razine udobnosti i rizici pojave legionele u sustavima za pripremu potrošne tople vode. Ispitane su i mogućnosti primjene četvrte generacije daljinskog grijanja na postojećim zgradama i postojećim sustavima daljinskog grijanja snižavanjem radne temperature ogrjevnog medija. Polazne temperature ogrjevnog medija u mreži snižavaju se na 50°C do 55°C i prilagođavaju temperaturnim režimima unutarnjih instalacija kod potrošača. Snižavanjem temperaturnog režima u mreži i primjenom odgovarajućih tehnologija predizoliranih cijevi mogu se smanjiti toplinski gubici u distribuciji i do 75% u odnosu na postojeće sustave treće generacije. Ovo čini sustave daljinskih grijanja konkurentnim u usporedbi s pojedinačnim lokalnim grijanjima u područjima s niskom toplinskom gustoćom ili niskoenergetskim zgradama.

Tradicionalni pristup ocjenjivanja sustava daljinskih grijanja je više usmjeren na odnos proizvedene i isporučene toplinske energije, a nedovoljnu usmjerenost postojećih sustava prema krajnjim kupcima novi koncept niskotemperaturnog daljinskog grijanja želi ispraviti i tu donosi promjene. Krajnjeg kupca stavlja se u središte, kreće od njega, njegovih potreba i zahtjeva za ostvarivanjem toplinske ugone. Teži se k ostvarenju što kvalitetnijeg odnosa između proizvodnje i potrošnje toplinske energije s ciljem pronalaženja najboljih tehničkih i ekonomskih načina kako bi se zadovoljile potrebe za toplinskom energijom kroz učinkovite sustave daljinskog grijanja. Novi koncept stoga kreće od utvrđivanja odgovarajućih kućnih toplinskih podstanica u niskoenergetskim zgradama za niže polazne temperature u unutarnjoj instalaciji i mreži, ide prema projektiranju učinkovitih toplinskih mreža, i na kraju razmatra jedinice za proizvodnju toplinske energije koje su prihvatljive za okoliš i temelje se na korištenju otpadne topline i obnovljivih izvora u proizvodnji toplinske energije.

Prikazane studije slučaja u [16] su pokazale sljedeće:

- potrebe za toplinskom energijom u novim zgradama su sve niže i stoga je vrlo bitno što točnije proračunati ih i iskazati primjenjujući niskotemperaturni režim rada unutarnjih instalacija grijanja
- potrebno je kontinuirano kontrolirati sustav kako bi se otkrile pogreške zbog kojih dolazi do viših temperatura od projektiranih
- prihvatljivi toplinski gubici u distribuciji od 10% do 15% mogu se postići i u područjima s niskoenergetskim kućama, uz smanjenje temperaturnog režima i koristeći tzv. dvostruke (duplex) cijevi
- mogućnost kombinacije sustava daljinskog grijanja i vlastitih sustava grijanja u zgradama, korištenja obnovljivih izvora i viškova topline iz lokalnih izvora
- povećane potrebe za spremanjem toplinske energije iz obnovljivih izvora kako bi se postigla neovisnost i fleksibilnost u zadovoljavanju potreba krajnjih kupaca za toplinskom energijom (otvara se novi segment u tržištu toplinskom energijom).

Kako bi sustavi daljinskog grijanja ostvarili svoju ulogu u ostvarenju energetske-klimatskih ciljeva nužno je razvijati i primjenjivati nove tehnologije koje će pomoći u njihovom brzom preoblikovanju u moderne sustave četvrte generacije koji će biti konkurentni u odnosu na druge oblike grijanja.

2.2. Područje *Lean-a*

Pretraživanjem znanstvenih radova u bazi *Massachusetts Institute of Technology, Lean Advantismment Initiative (MIT, LAI)* iz početne faze razvoja *Lean-a* (devedesete godine prošlog stoljeća) može se uočiti da oni govore uglavnom o primjeni načela *Lean* proizvodnje kao okvira za poboljšanje uspješnosti proizvodnje u automobilske industriji te komercijalnoj (civilnoj) i vojnoj zrakoplovnoj industriji [17].

Ranije promatranje i primjena *Lean-a* samo u proizvodnim procesima se uzdiže na razinu strategije koja zbog sveobuhvatnosti svojih načela omogućuje prilagođavanje i širenje *Lean-a* i na druga područja u poduzeću [18] te na mnoge druge uslužne djelatnosti [19]. Znanstveni radovi iz ovog razdoblja (krajem prošlog i početkom ovog stoljeća) uglavnom opisuju primjenu *Lean-a* u:

- projektiranju i razvoju proizvodnih sustava
- poslovima servisa i održavanja
- marketingu i prodaji te
- uslužnim djelatnostima (zdravstvo, javna uprava, sveučilišta, školstvo, informatičke usluge, turizam, kultura, arhitektura, građevinarstvo i dr.).

Primjena *Lean-a* na razini cijelog poduzeća slijedeća je faza razvoja i širenja te potvrda prilagodljivosti *lean* načela različitim djelatnostima i područjima [20]. Najčešće teme koje su obrađivane u znanstvenim radovima su:

- iskustva i značajke transformacije poduzeća koja su počela primjenjivati *Lean*
- mjerenje uspješnosti *lean* transformacije
- *lean* transformaciju korištenjem drugih metoda (Six-Sigma, virtualni poslovni sustav) za poboljšanje procesa
- vlastite operative modele/sustave poduzeća utemeljene na *lean* načelima
- upravljanje tokom vrijednosti na razini cijelog poduzeća i
- interese ključnih zainteresiranih strana (dionika) pri uvođenju *Lean-a* u poduzeća.

Budući da pretraživanjem znanstvenih baza nisu pronađeni radovi koji govore o primjeni *Lean-a* u distribuciji toplinske energije u sustavima daljinskog grijanja, istraženi su radovi [21-29] koji govore o:

- smanjenju potrošnje energije i emisija stakleničkih plinova nakon uvođenja *Lean-a*,
- *lean* i *green* gubicima,
- povezanosti *Lean* i *Green* pristupa te o njihovim sinergijskim učincima kada se istovremeno uvode u poduzeća, i
- razvoju *VSM* mape s *green* komponentama te mape za poslove održavanja u slučaju kvara i ispada opreme iz rada.

U [21] se razmatra kako se u literaturi prikazuje odnos *Lean* i *Green* pristupa, istražuje se kako *Lean* proizvodnja može osigurati gospodarsku i okolišnu održivost za dugoročni rast i napredak poduzeća, poboljšavajući produktivnost uz istovremeni minimalni utjecaj svojih aktivnosti na okoliš. U početku je bilo zabrinutosti da bi tvrtke mogle ugroziti svoju ekonomsku održivost uz troškove koji se pojavljuju kako bi ispunile svoju okolišnu i društvenu odgovornost. Tri stupa održivosti, gospodarstvo, društvo i okoliš, promatrali su se odvojeno, ne uzimajući u obzir njihovu međuovisnost. Međutim, brojni su primjeri tvrtki u kojima je poboljšanje zaštite okoliša rezultiralo većom dobiti. Smanjivanjem količina otpada koje nastaju smanjuje se i potrošnja energije, učinkovitije se koriste svi resursi što dovodi do smanjenja troškova i pridonosi zaštiti i unaprjeđenju okoliša. Prihvatanje i provođenje politike ublažavanja klimatskih promjena na razini poduzeća može smanjiti neučinkovitost i troškove, a na svjetskoj razini može poslužiti kao poluga za reformu neučinkovitih procesa. Primjenjujući *Lean* pristup u uklanjanju gubitaka ima značajan potencijal za zaštitu okoliša i ekonomsku održivost. Budući da je suština *Lean-a* proizvesti što više upotrebljavajući pri tome što manje resursa, to podrazumijeva da tvrtke koje razmišljaju *lean* koriste manje neobnovljivih izvora u obliku sirovina i energije. To će značiti manje zagađenja i emisija u okoliš te *lean* proizvođače učiniti prihvatljivijim za okoliš od tradicionalnih proizvođača. Potraga za kontinuiranim poboljšanjem (*Kaizen*) stvorila je značajne mogućnosti za sprječavanje onečišćenja i otpada te smanjenje emisija. Istraživanje odnosa između naprednih proizvodnih procesa i inovativnog pristupa u ekološki svjesnoj proizvodnji pokazuje da je veza *Lean-a* i *Green-a* više implicitna nego eksplicitna. Nije utvrđeno da li primjena *Lean* razmišljanja dovodi do boljih rezultata u zaštiti okoliša, ili su tvrtke koje su otvorene za rješavanje ekoloških problema također otvorene i za uvođenje inovativnih proizvodnih procesa. Veliki dio istraživanja oslanja se na vjerodostojne dokaze i empirijske rezultate u povezivanju *Lean* proizvodnje i zaštite okoliša.

Tijekom posljednjih nekoliko desetljeća filozofija *Lean* upravljanja je prodrla u različite industrijske sektore. U [22] se promatraju sličnosti između načela *Lean* upravljanja i gospodarenja energijom te uspoređuju *lean* gubici s gubicima u gospodarenju energijom. Cilj studije je pokazati kako dodana vrijednost za krajnjeg kupca može biti stvorena kroz učinkovito gospodarenje energijom koja se troši u zgradarstvu. Potrošnja energije u zgradarstvu (40% svjetske godišnje potrošnje energije) smatra se jednim od glavnih krivaca za najznačajniji ekološki izazov našeg vremena, klimatske promjene. Stoga postoji veliki potencijal za gospodarenje energijom kako bi se poboljšala energetska učinkovitost zgrada. Rasipanje resursa kao što su energija, voda i materijali ne doprinosi zaštiti okoliša. I iz perspektive *Lean* upravljanja ova rasipanja predstavljaju otpad, gubitke. U skladu s *lean* načelima prepoznati su dijelovi energetske potrošnje koji ne pridonose povećanju vrijednosti promatranih poslovnih procesa (*NVAT* dio). Promatra se energetska učinkovitost kao tok vrijednosti i pokazuje kako su gubici prekomjerne upotrebe energije smanjeni i učinkovitost povećana nakon angažiranja energetskeg servisa za daljinski nadzor i upravljanje potrošnjom energije. Potvrđuje se da postoje mnoge paralele između *lean* gubitaka i *NVAT* dijelova potrošnje energije tj. gubitaka energije. Otklanjajući ove gubitke sačuvat će se energija, smanjiti potrošnja goriva i emisije stakleničkih plinova. Upotreba što manje resursa, od kojih je jedan vrlo značajan i energija, je dio filozofije *Lean* upravljanja.

Istraživanje o *green* metrikama se razvija kako bi se definirali ključni pokazatelji *green* poslovanja koji će menadžerima koristiti za praćenje svih napora koje njihove tvrtke ulažu u zaštitu okoliša i mjerenje njihovog učinka na okoliš [23]. Usvojeni su pojmovi za tvrtke kao što su "rezultat utjecaja na okoliš", "*green* politike i ocjena uspješnosti" te "*green* ugled". Za svaki od ovih pojmova definiran je način na koji se određuje. Studija istražuje utjecaj zelenog poslovanja na uspješnost ukupnog poslovanja u 500 najboljih javnih tvrtki u *SAD-u*. Na temelju baze podataka o stvarno izmjeranim vrijednostima utjecaja na okoliš i odnosa prema okolišu pokazuje se da proizvodne tvrtke imaju veći negativni utjecaj na okoliš zbog svojih proizvodnih aktivnosti, ali istovremeno imaju i veći *green* ugled od tvrtki koje se bave uslužnim djelatnostima. Vjerojatni razlog tomu je da proizvodne tvrtke objavljuju sve inicijative koje poduzimaju u zaštiti okoliša što rezultira boljim ugledom u javnosti. Utvrđeno je da kod proizvodnih tvrtki rezultati utjecaja na okoliš i primjena *green* politike više utječu na pokazatelje uspješnosti poslovanja, dok kod uslužnih djelatnosti važniji utjecaj na tržišno poslovanje ima *green* ugled koji tvrtka ima.

Budući da uvođenje i *Lean* i *Green* programa u poduzeće zahtijeva uključenost menadžmenta i zaposlenika, prepoznavanje i smanjenje organizacijskih gubitaka te kontinuirano poboljšanje poslovnih procesa, pretpostavlja se da uvođenje jednog od programa može značajno olakšati kasnije uvođenje drugog programa [24]. Sličnosti u strukturama uspješnih modela za provedbu *Lean* i *Green* upravljanja su očite i pokazuju se na osnovnim razinama ovih programa u područjima upravljanja, prepoznavanja i uklanjanja otpada te očekivanih poslovnih rezultata. Uvođenjem *Lean-a* mnoge tvrtke žele poboljšati profitabilnost i odgovoriti na zahtjeve potrošača, dok one koje primjenjuju *Green* traže dugoročnu održivost svog poslovanja i bolji ugled na tržištu. U ovoj studiji istražuje se hipoteza da će *lean* tvrtke, koje u svom poslovanju uključuju *green* elemente, imati bolje *lean* rezultate od onih tvrtki koje ih ne uključuju. Istraživanje je provedeno na uzorku tvrtki koje su pobijedile i bile u finalu za američku Shingo nagradu za izvrsnost u primjeni *Lean-a* u razdoblju od 2000. do 2005. godine. Ocjenjivanje za ovu nagradu, koliko su tvrtke *lean* u pojedinom segmentu, je sveobuhvatno, rezultati su usporedivi i dostupni istraživačima. Kao nezavisne varijable se uzimaju izmjereni rezultati za *green* elemente (sustav upravljanja zaštitom okoliša, ukupni sustav *green* upravljanja, zamjena otrovnih materijala, mogućnost ponovnog iskorištenja materijala, produljeno korištenje proizvoda, povratna ambalaža, razvrstavanje otpada, primjena različitih tehnika za smanjenje otpada), a kao zavisne varijable *lean* rezultati (kvaliteta, cijena, isporuka, zadovoljstvo kupca i profitabilnost), te se pomoću statističke analize testira hipoteza. Rezultati pružaju snažne statističke dokaze da promatrane izvrsne *lean* tvrtke, integrirajući više *green* elemenata u svoje poslovanje, postižu bolje *lean* rezultate od onih koje to čine u manjoj mjeri. Usmjerenje pozornosti na ukupno smanjenje otpada (*lean* i *green* gubitaka) rezultira ukupnim smanjivanjem troškova što povezivanje *lean* i *green* programa u jedan sustav čini opravdanim i potvrđuje njihovu sinergiju.

U [25] je provedena empirijska analiza okolišnih značajki u 17.499 američkih proizvodnih poduzeća kako bi se ispitala povezanost i utjecaj osnovnih značajki *Lean* proizvodnje na okoliš, te istražile hipoteze da će tvrtke koje primjenjuju *Lean* lakše uvesti odgovarajući sustav zaštite okoliša, da će stvarati manje otpada i da će imati niže emisije. Pokazano je da uvođenje sustava za upravljanje kvalitetom ISO 9001 povećava vjerojatnost da će tvrtka uvesti i sustav za upravljanje zaštitom okoliša ISO 14001. Utvrđeno je i da će tvrtke koje u svom poslovanju usvoje standarde kvalitete i minimiziraju skladišta imati manje opasnih tvari, na što će više utjecati mjere za sprječavanje nastajanja otpada i zagađenja

okoliša koje provode, nego kasnija obrada nastalog otpada. Tako se u ovom radu na temelju empirijskih podataka potvrđuje uzrečica "*lean is green*".

Budući da su osnovne značajke i *Lean* i *Green* programa naglašena važnost sustava upravljanja, primjena različitih tehnika za smanjenje otpada i postizanje željenih poslovnih rezultata, prepoznato je da postoji velika sličnost u strukturi ovih programa [26]. Mnogi od elemenata su vrlo slični, ako ne i identični. Uspoređujući modele *Lean* proizvodnih sustava s modelima *Green* sustava poslovanja u mnogim vodećim američkim tvrtkama koje ih primjenjuju, zaključuje se da su sustavi paralelni po prirodi, štoviše da imaju nevjerojatno sličnu strukturu i elemente. Navodi se primjer studije u tvrtki *Boing Corporation*, koja pokazuje kako primjena *Lean* programa poboljšava okoliš tako što se, kao rezultat povećanja učinkovitosti procesa i poboljšanja kvalitete, stvaraju manje količine otpada. Dodatno, navodi se da otpad smanjuje i svijest koja je razvijena zahvaljujući *Lean* programu, i zasigurno je jedan od bitnih čimbenika za održivo poboljšanje zaštite okoliša. Analizirajući poznate tvrtke iz registra dobitnika *Shingo* nagrade za izvrsnost u *Lean* proizvodnji, potvrdilo se da je snaga upravljanja sustavom povezana s provedbom tehnika za uklanjanje otpada, koja je u korelaciji s poslovnim rezultatom u oba programa. Istraživanje sličnosti i zajedničkog dijela u *lean* i *green* sustavima pokazalo je paralelne strukture ovih sustava. Predložen je nastavak istraživanja koje bi rezultiralo cjelovitim modelom za istovremeno uvođenje *lean* i *green* programa, koji će omogućiti veće poboljšanje procesa i poslovnih rezultata nego u slučaju njihovog pojedinačnog uvođenja.

U disertaciji [27] su analizirane karakteristike trinaest različitih okvira za upravljanje, do kojih se došlo proučavajući različite nagrade iz ovog područja, standarde i alate. Ovi okviri pomogli su za što bolje razumijevanje najvažnijih pitanja za poslovanje opskrbnog lanca neke organizacije i uzeti su kao polazište za izradu *Lean-Green* modela upravljanja opskrbnim lancem. Provedena je usporedna analiza između tih različitih pristupa kako bi se pronašli elementi njihova podudaranja i razlikovanja. Identificirane su sličnosti i niz kategorija koje su zajedničke u gotovo svim okvirima za upravljanje: vodstvo, ljudi, strateško planiranje, zainteresirane strane, procesi i rezultati. Na temelju ovih šest ključnih kriterija predložen je okvir za preoblikovanje i vrednovanje koliko je opskrbni lanac neke organizacije *lean* i *green*. Bitna prednost ovog modela je da povezuje *Lean* i *Green* na strateškoj, taktičkoj i operativnoj razini. Istraživanje pokazuje kako se ova dva načina upravljanja mogu smatrati kao jedno. Provedena je studija slučaja na automobilskom opskrbnom lancu (proizvođač, glavni

dobavljači, kupci i krajnji kupac) jer ova industrija ima visoku razinu primjenjivosti *Lean-a* i *Green-a* koja omogućuje razumijevanje suštine njihove integracije. Pokazalo se da glavni proizvođač u lancu opskrbe određuje razinu do koje će se primjenjivati *Lean-Green* pristup u opskrbnom lancu, posebno kod izravnih partnera i dobavljača kako bi i oni poboljšali svoje procese. Navodi se da je za postizanje *lean-green* transformacije opskrbnog lanca potrebno predano vodstvo, uključenost svih zaposlenika, odgovarajuća kultura duž opskrbnog lanca, odgovarajuća struktura, postojanje strategije za transformaciju, povezanost s partnerima i dobavljačima, optimiziranje resursa i uklanjanje otpada.

Mapiranje toka vrijednosti (*VSM*) često se koristi kao jedan od *lean* alata za poboljšanje poslovanja, ali obično ne sadrži podatke o parametrima okoliša. Američka agencija za zaštitu okoliša *EPA* predlaže da se kombiniraju *VSM* i *Green VSM* u kojem će se analizirati okoliš. *Green VSM* se može koristiti za procjenu poboljšanja proizvodnje i poboljšanja zaštite okoliša u isto vrijeme u istom alatu. U [28] je prikazan pristup za integraciju ekoloških pogleda kod razvoja proizvodnih sustava na primjeru rezultata projekta provedenog u tvrtki *Volvo Trucks* u kojoj je ispitana i primijenjena pilot metoda za ekološko mapiranje toka vrijednosti (*Green VSM*) na robotiziranoj stanici za zavarivanje. Prikazuje se potrošnja energije u proizvodnom ciklusu zavarivanja, uključujući energiju potrošenu za proizvodnju opreme, za pomoćne sustave (npr. komprimirani zrak) i energiju potrošenu u zgradi (rasvjeta, prozračivanje, grijanje). Potrošnja energije je podijeljena na:

- dio koji dodaje vrijednost (izravno korištenje energije za vrijeme aktivnog korištenja proizvodne opreme, kao što je zavarivanje)
- dio koji ne dodaje vrijednost, ali je potreban za odvijanje proizvodnih procesa (rasvjeta, ventilacija, komprimirani zrak i dr. potrošeno tijekom proizvodnje)
- dio koji predstavlja gubitke zbog praznog hoda opreme i potrošnje energije kada proizvodnja ne radi.

Uočen je značajan potencijal za poboljšanje praznog hoda proizvodne opreme i smanjenja potrošnje energije za rasvjetu i prozračivanje. Razvijena je praktična metoda za *Green VSM* koju čine tri koraka:

- prikupljanje proizvodnih podataka i relevantnih parametara za zaštitu okoliša u skladu sa standardiziranim predloškom
- izrada *Green VSM* mape, razvrstavanje podataka o aktivnostima koje dodaju i ne dodaju vrijednost, te o čistim gubicima

- prepoznavanje uskih grla u proizvodnji i zaštiti okoliša, postavljanje ciljeva za unaprjeđenje i praćenje njihove realizacije.

Korištenje *Green VSM* omogućuje bolje razumijevanje proizvodnog sustava u smislu da se, pored aktivnosti koje utječu na produktivnost, prepoznaju i aktivnosti koje utječu na okoliš.

Važno je prepoznati i lokalne ekološke parametre koji ne ovise o proizvodnji i povezati ih s parametrima unutar postrojenja kako bi se upotpunile aktivnosti i dobio cjelovit uvid o zaštiti okoliša u tvrtki. Također je naglašena nužnost suradnje s dobavljačima i potreba njihovog sudjelovanja u poboljšanju zaštite okoliša.

Upravljanje održavanjem je dobilo novu snagu i svrhu kroz povećanje kapaciteta i sposobnosti opreme zbog sve većeg naglaska na nužnosti primjene načela *Lean* proizvodnje u današnjem konkurentskom okruženju [29]. Razvijene su različite vrste strategija održavanja za povećanje učinkovitosti opreme, ali je vrlo malo učinjeno u dijelu interventnog održavanja u slučaju kvara i ispada opreme iz rada. Potrebno je sustavno vrednovati sve aktivnosti koje predstavljaju gubitak unutar ovog dijela korektivnog održavanja. Osnovni *lean* alat koji pruža uvid u prepoznavanje i analizu aktivnosti u procesu je mapiranje toka vrijednosti tj. izrada *VSM* mape. Međutim, tradicionalno mapiranje se ne može iskoristiti, jer terminologija ne odgovara u potpunosti, te je stoga u ovom radu razvijena *VSM* mapa za analizu poslova specifičnih za ovu vrstu održavanja. Analogno pojmu vodećeg vremena u proizvodnji uvodi se vodeće vrijeme održavanja koje predstavlja vrijeme od trenutka spoznaje o kvaru i potrebi održavanja do ponovnog uspostavljanja promatranog procesa nakon poduzetih aktivnosti i uspješnog otklanjanja kvara. Vodeće vrijeme održavanja sastoji se od vremena potrebnog za pripremu održavanja, za popravak opreme te za završne aktivnosti i stavljanje opreme u ponovni rad. U okviru vodećeg vremena održavanja jedino unutar vremena za popravak opreme se dodaje vrijednost u procesu održavanja, jer se tu odvijaju stvarno potrebne aktivnosti na otklanjanju kvara (*VAT* dio). Unutar druge dvije komponente se obavljaju pripremno-završne aktivnosti koje su nužne, ali se ne dodaje vrijednost u procesu održavanja (*NVAT* dio). Razvoj *VSM* mape za interventno održavanje (*MVSM* mapa) podijeljen je u dvije faze. Prva faza uključuje izradu svih potrebnih simbola karakterističnih za poslove održavanja. U drugoj fazi se mapira proces održavanja korak po korak kako bi se izradila što točnija mapa sadašnjeg stanja, u kojoj će biti prikazana vodeća vremena aktivnosti koje dodaju i ne dodaju vrijednost u procesu.

3. DALJINSKO GRIJANJE

Sustav daljinskog grijanja ili centralni toplinski sustav (CTS) se može opisati kao sustav za proizvodnju, distribuciju i opskrbu toplinskom energijom industrijskih, poslovnih i stambenih potrošača. Toplinska energija se proizvodi centralno u jednom ili više proizvodnih postrojenja i distribucijom ogrjevnog medija (para, vrela i topla voda) se prenosi do toplinskih podstanica gdje se predaje krajnjim kupcima za tehnološke potrebe, zagrijavanje prostora i pripremu potrošne tople vode. Istu tehnologiju moguće je koristiti i za daljinsko hlađenje, no u ovom radu pozornost će biti usmjerena samo na grijanje.

Centralni toplinski sustavi obično pokrivaju pojedina područja unutar gradova u kojima su gustoća naseljenosti i potrebe za toplinom dovoljno velike, kako bi toplifikacija, s tehničkog i ekonomskog gledišta, bila opravdana. Toplinski sustavi nisu rasprostranjeni i umreženi kao elektroenergetski ili plinski sustavi, oni predstavljaju zasebne sustave i od lokalnog su značaja za područja u kojima se nalaze.

3.1. Povijest i razvoj sustava daljinskog grijanja

Prvi komercijalno uspješan sustav daljinskog grijanja pokrenuo je američki inženjer, izumitelj i poduzetnik Birdsill Holly 1877. godine u Lockportu, New York [30]. Razvoj daljinskog grijanja, od svojih početaka pa do danas, prošao je kroz tri generacije koje karakteriziraju različite vrste ogrjevnog medija i temperaturni režimi [16]:

- prva generacija sustava daljinskih grijanja obuhvaća razdoblje od 1880. do 1930. godine u kojem se kao ogrjevni medij koristila vodena para temperature iznad 200°C
- druga generacija nastaje u razdoblju od 1930. do 1970. godine i predstavlja sustave koji koriste vrelu vodu temperature iznad 100°C i

- treća generacija sustava razvija se nakon 1970. godine, a njoj pripadaju i današnji sustavi, u kojima je ogrjevni medij topla voda temperature 80°C do 100°C.

Započela su istraživanja i razvoj nove četvrte generacije sustava daljinskog grijanja, kao niskotemperaturnog sustava, koja bi trebala zamijeniti postojeću treću generaciju.



Slika 3.1. Temeljna ideja modernog sustava daljinskog grijanja [31]

Temeljna ideja modernog sustava daljinskog grijanja (Slika 3.1.) je iskoristiti sve viškove otpadne topline – iz proizvodnje električne energije, iz prerade goriva i biogoriva, iz industrijskih (tehnoloških) procesa – i organizirati proizvodnju toplinske energije na način koji je učinkovitiji od pojedinačne proizvodnje [31]. Nadalje, sustavi daljinskog grijanja mogu koristiti energiju dobivenu spaljivanjem otpada te iz različitih obnovljivih izvora (biomasa, geotermalna i sunčeva energija), tako da se teži prema distribuiranoj proizvodnji toplinske (i električne) energije koja se koristi za zagrijavanje ogrjevnog medija, koji se transportira kroz dobro izoliranu mrežu i opskrbljuje potrošače toplinskom energijom za potrebe grijanja njihovih stambenih i poslovnih prostora te za pripremu potrošne tople vode. Primjenjuju se poboljšanja u upravljanju i vođenju sustava daljinskog grijanja, mjerenju i regulaciji te izgradnji toplinske mreže primjenjujući napredne materijale i tehnologije.

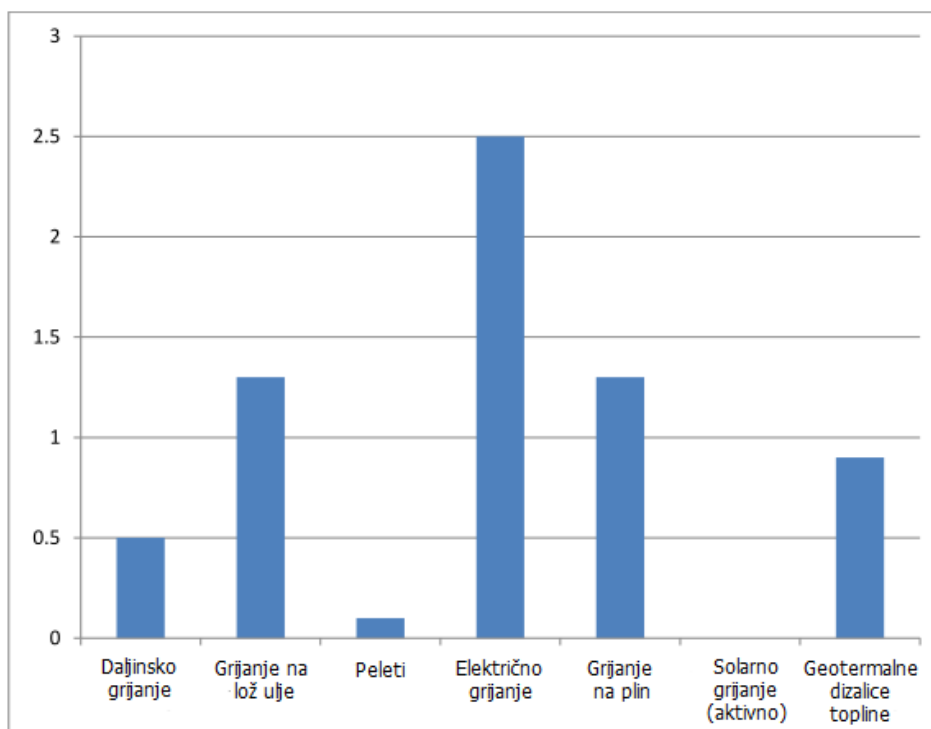
3.2. Prednosti i nedostaci daljinskog grijanja

Daljinsko grijanje omogućuje visoku fleksibilnost u pogledu korištenja različitih tehnologija u proizvodnji toplinske energije (kogeneracije, dizalice topline, obnovljivi izvori,

viškovi topline iz industrije, spaljivanje komunalnog otpada) i različitih vrsta goriva (biogoriva, otpad, ugljen, plin), uključujući i ona koja bi u drugačijim okolnostima ostala neiskorištena, koje je vrlo teško (mala efikasnost i isplativost) spaljivati u pojedinačnim načinima grijanja, kao što su npr. drveni otpad, slama, komunalni otpad i kanalizacijski mulj [31]. Većina obnovljivih izvora, uključujući biogoriva, geotermalnu, solarnu i energiju vjetra, mogu biti učinkovitije iskorišteni kada su povezani u mrežu daljinskog grijanja.

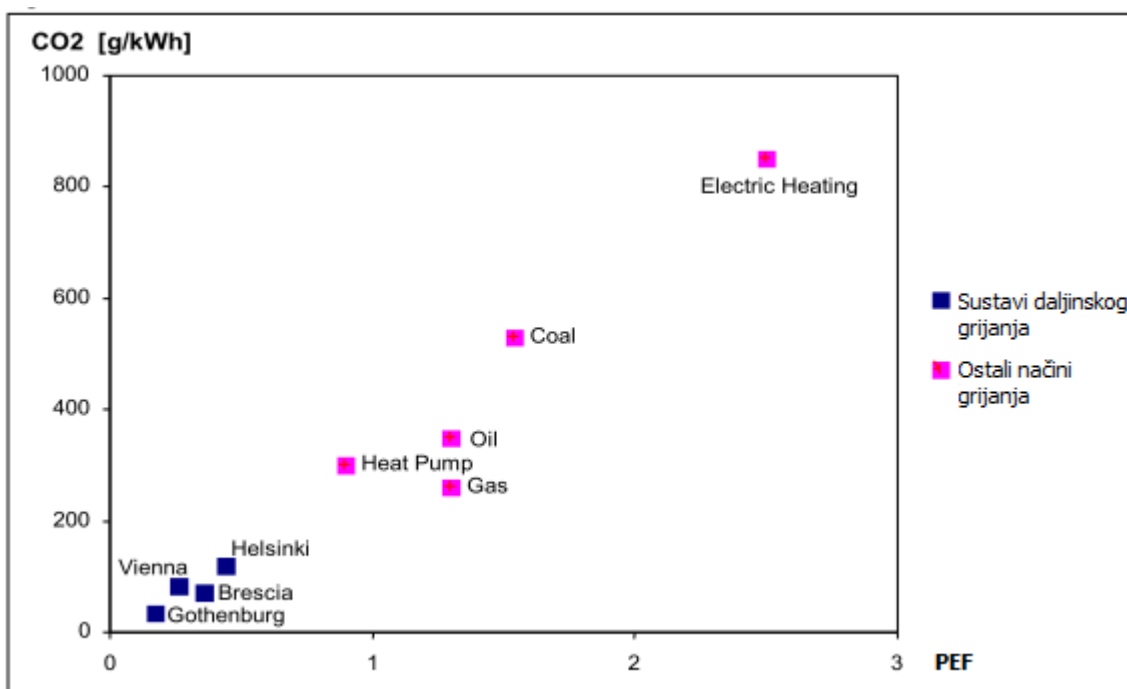
Sustavi daljinskog grijanja pružaju mogućnost izgradnje modernih visokoučinkovitih kogeneracijskih postrojenja, koja imaju ukupni stupanj iskorištenja i preko 90%, što dovodi do manje potrošnje goriva, nižih emisija i klimatskih utjecaja na lokalnoj razini. Daljinsko grijanje smanjuje onečišćivače, kao što su krute čestice, SO_2 i NO_x , premještajući dimne plinove iz puno pojedinačnih individualnih izvora u jedan ili više centralnih dimnjaka gdje se puno bolje i efikasnije može spriječiti zagađenje te provoditi potrebne kontrole i mjerenja emisija dimnih plinova iz proizvodnih jedinica centralnog toplinskog sustava [31].

Na Slici 3.2. prikazane su tipične vrijednosti faktora primarne energije *PEF* za različite načine grijanja. Ovaj faktor mjeri zajednički utjecaj učinkovitosti, korištenja obnovljivih izvora i otpadne energije u promatranom načinu grijanja.



Slika 3.2. Vrijednosti faktora *PEF* za različite načine grijanja [31]

Tako se omogućuje usporedba različitih načina grijanja obzirom na njihov doprinos smanjenju upotrebe fosilnih goriva. Što je niža vrijednost faktora *PEF* to znači da će se manje potrošiti fosilne energije. Navedeni podaci potvrđuju da se u sustavima daljinskog grijanja troši daleko manje energije nego u drugim načinima grijanja i da je to jedan od najučinkovitijih načina grijanja. To onda ima za posljedicu da su i količine emisija CO₂ iz sustava daljinskih grijanja značajno niže nego kod drugih načina grijanja, kao što se vidi na Slici 3.3.



Slika 3.3. Količine emisija CO₂ za različite načine grijanja [31]

U Tablici 3.1. prikazane su osnovne prednosti centralnih sustava grijanja u usporedbi s drugim načinima grijanja [31]. Prednosti proizlaze uglavnom iz činjenice da se radi o velikim sustavima u kojima se postiže veća učinkovitost u postupcima pretvorbe kemijske energije goriva u toplinsku energiju tj. u proizvodnji toplinske energije, niži su troškovi goriva, mogu koristiti više vrsta goriva, obnovljive izvore te dodatne izvore energije.

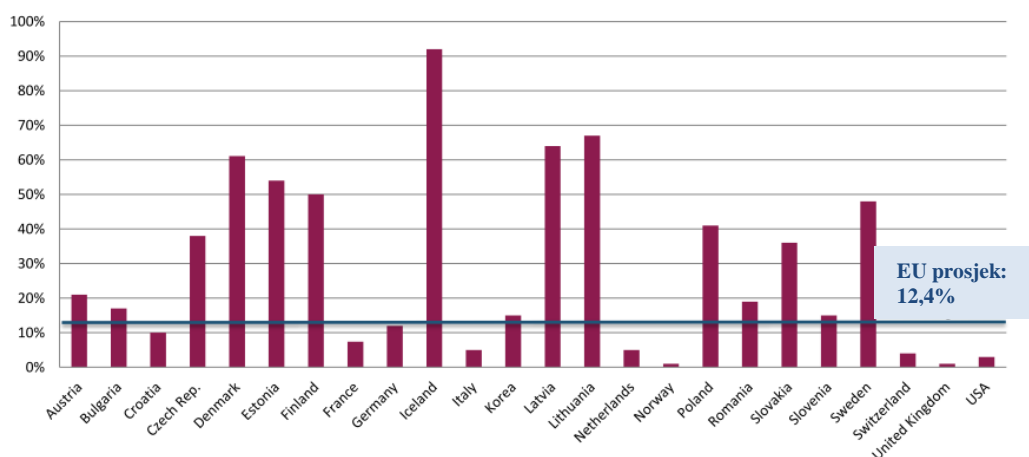
Glavni nedostaci daljinskog grijanja su ograničenja u distribuciji te veliki investicijski troškovi izgradnje proizvodnih i distribucijskih toplinskih postrojenja.

Tablica 3.1. Osnovne prednosti daljinskog grijanja [31]

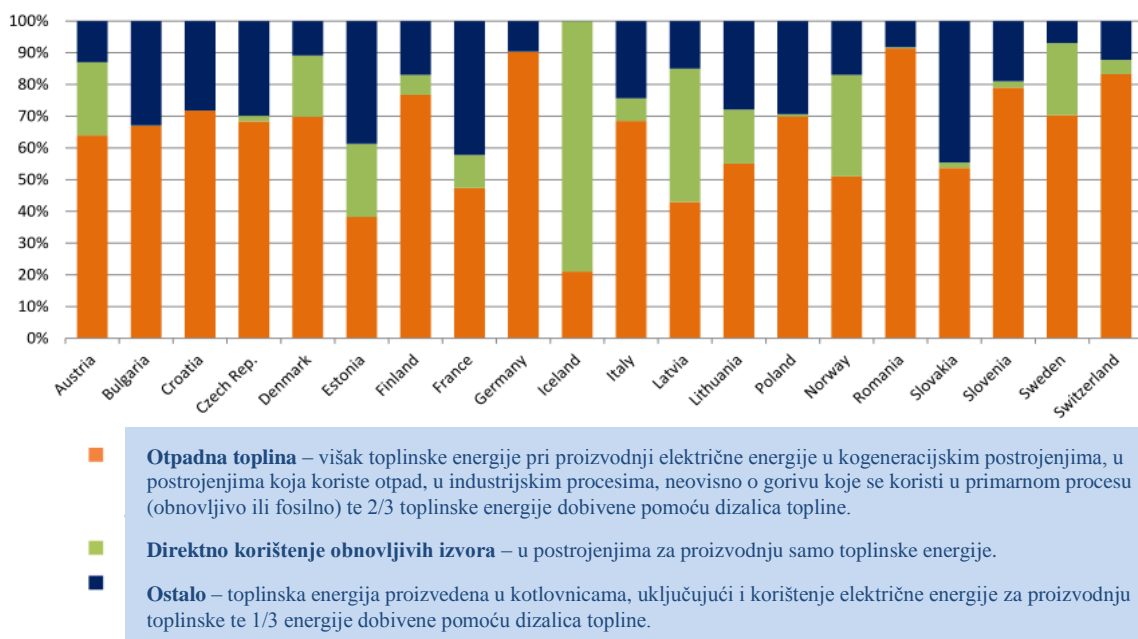
Oprema i održavanje
<ul style="list-style-type: none"> ➤ zahtjeva se minimalni prostor kod potrošača za smještaj podstanice koja je kompaktne izvedbe, jednostavna za korištenje, pogon i održavanje ➤ potrošači ne moraju voditi brigu o održavanju, operater daljinskog grijanja može uz uslugu opskrbom energijom pružiti i uslugu održavanja (pričuvni dijelovi i servisne usluge su na raspolaganju 24 sata dnevno tijekom cijele godine) ➤ zgrade spojene na toplinski sustav nemaju potrebu za skladištenjem goriva, nemaju bojlere, peći i plamenike te ne moraju imati dimnjak ➤ daljinsko grijanje ne zahtijeva dopunski ili pričuvni sustav grijanja ➤ akumulatori topline doprinose povećanju sigurnosti opskrbe toplinskom energijom u situacijama kraćih zastoja i hitnih intervencija na proizvodnim postrojenjima
Udobnost
<ul style="list-style-type: none"> ➤ jamči se potrebna/ugovorena količina toplinske energije za grijanje i pripremu potrošne tople vode ➤ potrošači nemaju zabrinutost zbog dostupnosti i nabave goriva ➤ sustav je jednostavan za rukovanje i radi automatski ➤ nema buke
Troškovi
<ul style="list-style-type: none"> ➤ umjereni troškovi ulaganja i niski troškovi održavanja za potrošača ➤ cijene su konkurentne, predvidive i stabilne, tarife su javne ➤ jedan od najjeftinijih načina grijanja
Pouzdanost i učinkovitost
<ul style="list-style-type: none"> ➤ vrlo pouzdan sustav jer se toplina proizvodi u više proizvodnih jedinica koje koriste različite vrste goriva ➤ fleksibilan sustav koji ima mogućnost korištenja više vrsta goriva, tako da ne ovisi o određenoj vrsti goriva ➤ mogu se koristiti lokalni izvori energije ➤ rijetki prekidi u opskrbi toplinskom energijom (traju vrlo kratko po nekoliko sati) ➤ podstanice imaju dug životni vijek i visoku učinkovitost ➤ potrošači nemaju rizike požara, eksplozije ili opasnih medija unutar zgrade ➤ mogućnost uvođenja sustava za daljinski nadzor i vođenje distribucijske mreže i toplinskih podstanica ➤ mogućnost uvođenja sustava za daljinsko očitavanje potrošnje toplinske energije
Utjecaj na okoliš
<ul style="list-style-type: none"> ➤ koriste se viškovi toplinske energije koja bi inače bila izgubljena (kogeneracija, otpadna toplina iz industrije i dr.) i tako se izbjegava uporaba dodatnih količina fosilnih goriva i pripadajućih emisija dimnih plinova ➤ koriste se lokalni izvori energije i obnovljivi izvori (drveni otpad, slama, komunalni otpad, kanalizacijski mulj i dr.) ➤ mali utjecaj na klimu: niska potrošnja primarne energije i emisije CO₂ ➤ smanjuju se lokalni zagađivači kao što su prašina, fine čestice, SO₂ i NO_x preseljenjem izlaznih dimnih plinova iz pojedinačnih izvora na dimnjake centralnog toplinskog sustava ➤ daleko učinkovitije se mogu spriječiti onečišćenja i provoditi mjere kontrole i mjerenja emisija na nekoliko proizvodnih jedinica centralnog toplinskog sustava, nego na velikom broju malih pojedinačnih izvora grijanja.

3.3. Daljinsko grijanje u Europskoj uniji

U krajnjoj potrošnji energije u Europskoj uniji 45% otpada na potrošnju toplinske energije za grijanje i hlađenje, 20% na električnu energiju, 26% na promet i 9% na ne energetska upotrebu [32]. Stoga daljinsko grijanje i hlađenje ima značajnu ulogu u opskrbi niskougljičnom toplinskom i rashladnom energijom. Promatrajući tržište Europske unije na daljinsko grijanje otpada oko 12% (Slika 3.4.), a u pojedinim zemljama ovaj udio doseže i više od 50% [33].



Slika 3.4 Udio stanovništva priključenog na sustave daljinskog grijanja [33]



Slika 3.5. Struktura proizvodnje toplinske energije za sustave daljinskog grijanja [33]

Oko 80% toplinske energije isporučene iz sustava daljinskih grijanja u Europi proizvedeno je u kogeneracijskim postrojenjima i iz obnovljivih izvora (Slika 3.5.) što pridonosi smanjenju potrošnje primarne energije i emisija CO₂ [33].

3.4. Uloga daljinskog grijanja u ostvarenju ciljeva energetske-klimatske politike EU

Početkom 2009. godine Europska unija je usvojila energetske-klimatski paket zakona kojima bi se do 2020. godine trebalo postići sljedeće [34]:

- 20% manje emisija stakleničkih plinova u odnosu na 1990. godinu
- 20% udjela obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji energije
- 20% povećanje energetske učinkovitosti (20% manja potrošnja energije u odnosu na onu koja se očekuje do 2020. u slučaju neprovođenja posebnih mjera).

U dokumentu [35] Europska unija iznosi novi okvir EU-a za klimu i energetiku do 2030. godine u kojem se predviđa:

- 40% smanjenje emisija stakleničkih plinova u odnosu na 1990. godinu
- 27% udio obnovljive energije
- 27% povećanje energetske učinkovitosti.

Prvi prijedlozi ovog okvira su zanemarivali ulogu grijanja i hlađenja u ostvarenju postavljenih ciljeva tako da je na zahtjev koalicije iz sektora grijanja i hlađenja, predvođene međunarodnim udruženjem Euroheat&Power, Europski parlament u nekoliko navrata, prepoznajući značaj i ulogu ovog sektora, tražio od Europske komisije da se pozornost ne zadržava samo na električnoj energiji, nego da se u prijedlog okvira održivog energetskeg modela Europske unije u potpunosti integrira i sektor grijanja i hlađenja. U tu svrhu izrađena je međunarodna predstudija [36] koja pokazuje jednu drugačiju i povoljniju mogućnost ostvarenja zacrtanih energetske-klimatskih ciljeva kroz sektor daljinskog grijanja i hlađenja (*HRE-EE* scenarij), nego što je to prikazano u planu razvoja energetskeg sektora (*EU-EE* scenarij) u [37]. Predstudija pokazuje da energetske učinkovitost u zgradama ne treba promatrati izdvojeno, nego kao dio ukupne učinkovitosti energetskeg lanca opskrbe, s osobitim naglaskom na razvoj i širenje daljinskog grijanja i hlađenja te na smanjenje potrošnje fosilnih goriva, što je veći prioritet nego smanjenje krajnje potrošnje. *HRE-EE* scenarij polazi

od tehnološke prilagodljivosti i sposobnosti sustava daljinskog grijanja i hlađenja da mogu koristiti različite izvore za proizvodnju toplinske energije: kogeneraciju, biomasu, solarnu i geotermalnu energiju, dizalice topline, spalionice komunalnog otpada i industrijsku otpadnu toplinu. Uzimajući u obzir više različitih izvora energije od svih ostalih *EU* scenarija, poboljšava se sigurnost proizvodnje i opskrbe energijom, te stvara prostor za nove poslove i radna mjesta. Tako *HRE-EE* scenarij doprinosi i većoj fleksibilnosti *EU-EE* scenarija, pomažući integraciji više vjetro i solarne energije u sektoru električne energije. Poboljšavajući *EU-EE* scenarij, smanjenje emisija CO₂ do željenih najmanje 80% moguće je, uz godišnju uštedu od 100 milijardi € do 146 milijardi €, zbog smanjenja troškova toplinske i rashladne energije za zgrade od 15% do 22%. Preoblikovanje toplinskih sustava doprinijet će bržem prelasku na niskougljično gospodarstvo i povećanju konkurentnosti, donoseći pri tome koristi od smanjenja troškova toplinske energije svim građanima EU i svim kategorijama potrošača, od onih najosjetljivijih do poslovnih.

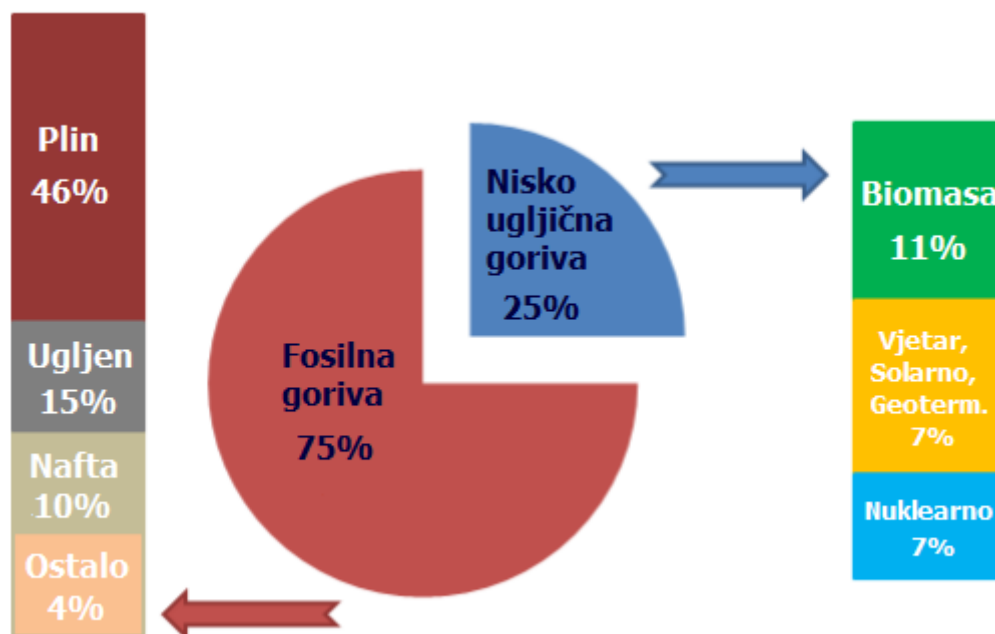
Međunarodna studija [31] financirana od Europske komisije potvrdila je da, ako bi se povećao udio daljinskog grijanja i hlađenja u 32 europske zemlje i udvostručila prodaja toplinske energije iz ovih sustava do 2020. godine, to značilo mogućnost dodatnog smanjenja:

- potrošnje primarne energije za 2,6% ili 2,1 EJ godišnje (što odgovara potrošnji primarne energije u Švedskoj)
- ovisnosti o uvozu energenata za 4,5 EJ godišnje (što odgovara potrošnji primarne energije u Poljskoj) i
- emisija CO₂ za 9,3% ili 404 milijuna tona godišnje (što je više od ukupnih količina zacrtanih u ciljevima Kyotskog sporazuma).

Visokoučinkovita kogeneracija te sustavi daljinskog grijanja i hlađenja imaju značajan potencijal za uštede primarne energije koji su još uvijek nedovoljno iskorišteni u EU. Važan su faktor kod planiranja budućih energetske sustava zbog svog potencijala da povećaju fleksibilnost sustava i udio obnovljivih izvora energije. Uzimajući u obzir ove prednosti, Direktiva Europske unije o energetskej učinkovitosti [38] navodi da svaka zemlja članica treba izraditi detaljnu analizu mogućnosti korištenja visokoučinkovitih kogeneracija i razvoja sustava daljinskog grijanja i hlađenja. Također, ova Direktiva traži i da se svi energetski subjekti za distribuciju ili opskrbu energijom, koji djeluju na teritoriju zemlje članice, obvežu na uštedu energije koja bi bila jednaka 1,5% ukupne prodane energije u prethodnoj godini. Ti

ciljevi mogu se u sektoru toplinske energije ostvariti poboljšanjem učinkovitosti sustava grijanja i provođenjem aktivnosti na smanjenju toplinskih potreba u zgradarstvu.

U strukturi potrošnje energije u Europskoj uniji najveći udio odnosi se na potrošnju energije za grijanje prostora (50%), pri čemu se uglavnom radi o toplinskoj energiji dobivenoj izgaranjem uvoznih fosilnih goriva, a na obnovljive izvore otpada 18% (Slika 3.6.).



Slika 3.6. Potrošnja primarne energije za grijanje i hlađenje u EU u 2012. godini [39]

Imajući u vidu energetske ovisnosti Europske unije i razmatrajući moguće poremećaje u opskrbi uvoznim plinom, Komisija je ipak prepoznala ključnu ulogu daljinskog grijanja u osiguranju dugoročne energetske sigurnosti zbog svoje tehnološke prilagodljivosti i sposobnosti mreže da se prebaci na obnovljive i lokalne resurse. Stoga je Europska komisija pokrenula izradu strategije [39] koja uključuje planove kako podići energetske učinkovitost zgradarstva, poboljšati vezu između sustava električne energije i sustava daljinskog grijanja koja će značajno povećati korištenje obnovljive energije, te potaknuti iskorištavanje otpadne toplinske i rashladne energije iz industrije. Cilj strategije je i olakšati informiranje potrošača kako bi bolje razumjeli mogućnosti korištenja energije i načine ušteda te se upoznali s efikasnim načinima energetske obnove i mogućnostima proizvodnje njihove vlastite energije iz obnovljivih izvora. Potrošači moraju biti u centru strategije, korištenje modernih tehnologija i inovativnih rješenja će omogućiti pametne, učinkovite i održive sustave grijanja i

hlađenja koji će tvrtkama i građanima donijeti uštede u potrošnji energije, poboljšati kvalitetu zraka te pružiti pogodnosti, kako za pojedince, tako i za društvo u cjelini.

3.5. Toplinska djelatnost u Republici Hrvatskoj

Toplifikacija u gradu Zagrebu započinje 1954. godine izgradnjom prvog javnog vrelovoda za potrebe grijanja tvornice Rade Končar iz tadašnje Gradske električne centrale (današnjeg pogona EL-TO). 1960. godine pušten je u pogon prvi javni parovod za opskrbu plivališta Mladost, a četiri godine poslije gradi se parovod većeg kapaciteta na koji se priključuju industrijski potrošači Pliva, Franck, Pivovara i drugi. U Osijeku toplifikacija započinje 1963. prenamjenom dotadašnje termoelektrane tzv. "munjare" u gradsku toplanu i izgradnjom parovoda (sustava prve generacije) koji se u početku koristio za tehnološke potrebe Pivovare, a kasnije i za zagrijavanje stambenih te poslovnih prostora. Ubrzo nakon parovodnih sustava, u ovim gradovima počinju se razvijati i vrelovodni sustavi kao sustavi druge generacije daljinskih grijanja. Centralni parovodni i vrelovodni sustavi u oba grada rade i danas, imaju najveći udio u tržištu toplinske energije u RH i većina toplinske energije proizvodi se u kogeneracijskim postrojenjima. U ostalim gradovima (Karlovac, Rijeka, Velika Gorica, Sisak, Slavonski Brod Vukovar, Varaždin, Vinkovci, Zaprešić, Samobor i dr.) razvili su se manji centralni sustavi bez kogeneracije, te zatvoreni i samostalni toplinski sustavi.

3.5.1. Zakonodavni okvir

Strategija održivog razvitka Republike Hrvatske [40] usvojena je 2009. godine i odnosi se na desetogodišnje razdoblje. Sadrži analizu postojećeg gospodarskog, socijalnog i okolišnog stanja, temeljna načela i mjerila za određivanje ciljeva i prioriteta te smjernice dugoročnog djelovanja i preobrazbe prema održivom razvoju. Prepoznati su ključni izazovi na kojima se mora raditi radi postizanja održivog razvoja, a neki od njih su:

- okoliš i prirodna dobra,
- usmjeravanje na održivu proizvodnju i potrošnju te
- postizanje energetske neovisnosti i rasta učinkovitosti korištenja energije.

Ističe se da je ulaganje u znanje i istraživanje te obrazovanje za održivi razvoj preduvjet za nužne promjene i postizanje ciljeva održivog razvoja.

Zakonodavni okvir iz područja energetike u Republici Hrvatskoj, kao članici Europske unije, utemeljen je na europskom energetsom zakonodavnom okviru. U nacionalno zakonodavstvo u potpunosti je ugrađen Treći energetske paket iz 2009. godine i niz drugih propisa koji utječu na poslovanje tvrtki u energetsom sektoru.

Glavne odrednice Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske [41] su:

- iskorištavanje obnovljivih izvora energije
- povećanje energetske učinkovitosti u svim dijelovima energetskog sustava i
- preuzimanje obveza iz ciljeva "20 20 20".

U [41] su navedene sljedeće razvojne smjernice za centralne toplinske sustave:

- kontinuirano poboljšavanje zakonskog okvira za učinkovito funkcioniranje toplinarstva
- smanjenje gubitaka distribucije toplinske energije
- tehnološko osuvremenjivanje centralnih toplinskih sustava
- iskorištavanje obnovljivih izvora energije u proizvodnji toplinske energije i poticanje distribuirane proizvodnje
- poticanje učinkovite uporabe toplinske energije i
- primjena suvremenih informacijskih tehnologija za vođenje sustava.

Uz [41], temeljni okvir za obavljanje toplinske djelatnosti kao energetske djelatnosti u Republici Hrvatskoj čine sljedeći zakoni:

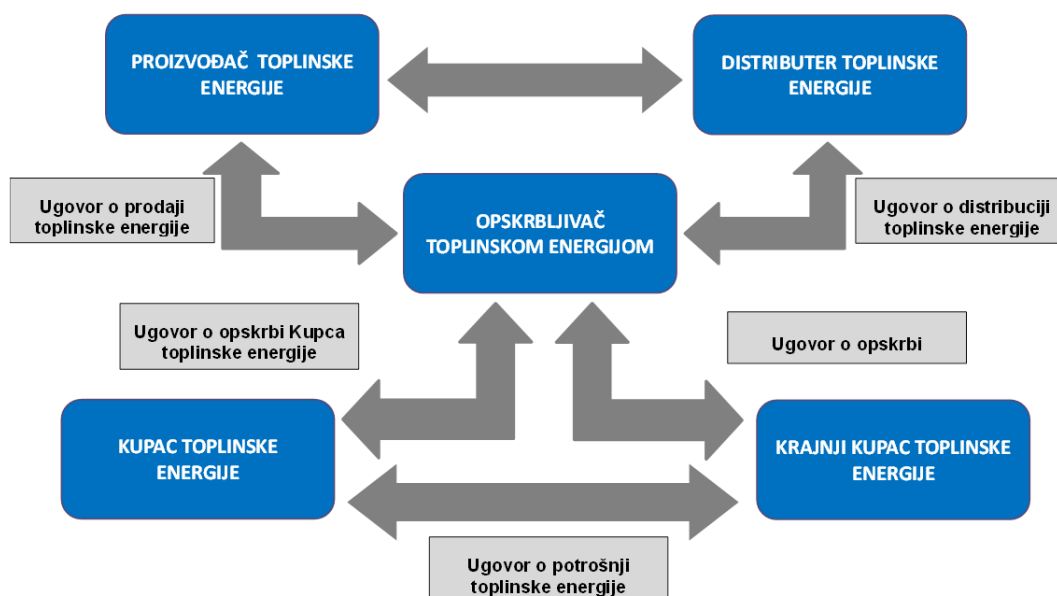
- Zakon o energiji (NN 120/12, 14/14, 102/15)
- Zakon o regulaciji energetskih djelatnosti (NN 120/12)
- Zakon o tržištu toplinske energije (NN 80/13, 14/14, 95/15) i
- Zakon o energetske učinkovitosti (NN 127/14).

Radi ostvarivanja zacrtanih ciljeva uštede energije u neposrednoj potrošnji, donesen je Zakon o energetske učinkovitosti [42] i tako je u hrvatsko zakonodavstvo prenesena Direktiva 2012/27/EU o energetske učinkovitosti. Zakonom se uređuje područje učinkovitog korištenja energije, donošenja planova na lokalnoj, regionalnoj i nacionalnoj razini za poboljšanje energetske učinkovitosti te njihovo provođenje. Propisuju se mjere i obveze energetske učinkovitosti, obveze regulatornog tijela za energetiku, operatora prijenosnog i distribucijskog sustava te tržišta energije u vezi s prijenosom, odnosno transportom i

distribucijom energije, opskrbljivača energijom, a posebice djelatnost energetske usluge, utvrđivanja ušteda energije te prava i obveze potrošača u primjeni mjera energetske učinkovitosti. Svrha je ostvarivanje ciljeva održivog energetskog razvoja:

- smanjenje negativnih utjecaja energetskog sektora na okoliš
- poboljšanje sigurnosti opskrbe energijom
- zadovoljavanje potreba potrošača energije i
- ispunjavanje obveza u području smanjenja emisija stakleničkih plinova poticanjem mjera energetske učinkovitosti u svim područjima potrošnje energije.

Zakon o tržištu toplinske energije [43] uveo je promjene u uređenju, organizaciji i funkcioniranju sektora toplinske energije (Slika 3.7.), s ciljem razvoja tržišta, novih investicija u toplinske sustave, te stvaranja mogućnosti za kvalitetnijim i efikasnijim odnosom između sudionika na tržištu toplinske energije.



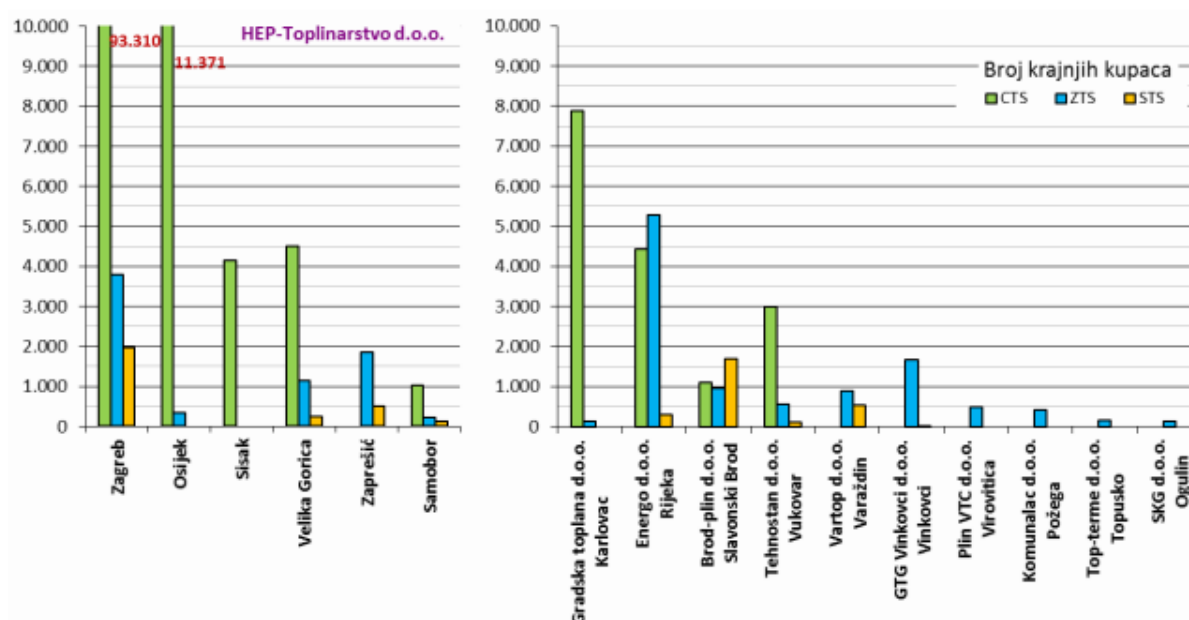
Slika 3.7. Odnos između sudionika na tržištu toplinske energije u RH

Distribucija toplinske energije obavlja se kao javna djelatnost na temelju koncesije koju predstavničko tijelo lokalne samouprave, na čijem se području djelatnost obavlja, daje distributeru, koji ima dozvolu od Hrvatske energetske regulatorne agencije (HERA). Distribucija je regulirana djelatnost tako da visine tarifnih stavki određuje HERA, dok su proizvodnja i opskrba tržišne djelatnosti, što znači da cijenu formiraju energetske subjekti koji obavljaju ove djelatnosti u skladu s tržišnim načelima. Do potpunog otvaranja tržišta toplinske

energije, iznimka je da se i proizvodnja toplinske energije u centralnim toplinskim sustavima, gdje jedan proizvođač sudjeluje s više od 60% u ukupno proizvedenoj toplinskoj energiji na jednom distribucijskom području, obavlja na regulirani način.

3.5.2. Organizacija sektora toplinske energije

Energetski subjekti za proizvodnju, distribuciju i opskrbu toplinskom energijom u Republici Hrvatskoj pružaju usluge grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode za oko 155.000 krajnjih kupaca toplinske energije, od kojih više od 95% pripada kategoriji kućanstva [44]. Oko 11% ukupnog broja kućanstava u Republici Hrvatskoj priključeno je na sustave daljinskog grijanja, a 15% ukupne energije potrošene za grijanje kućanstava i pripremu potrošne tople vode dolazi iz centralnih toplinskih sustava. Na Slici 3.8. prikazan je broj krajnjih kupaca toplinske energije u Republici Hrvatskoj u pojedinom toplinskom sustavu (centralnom, zatvorenom i samostalnom). Toplinska energija za potrebe grijanja prostora i pripremu PTV-a proizvodi se u kogeneracijskim postrojenjima u Zagrebu i Osijeku, te u područnim toplanama (kotlovnica) koje se nalaze u skoro svim većim gradovima.



Slika 3.8. Broj krajnjih kupaca toplinske energije u RH u 2014. godini [44]

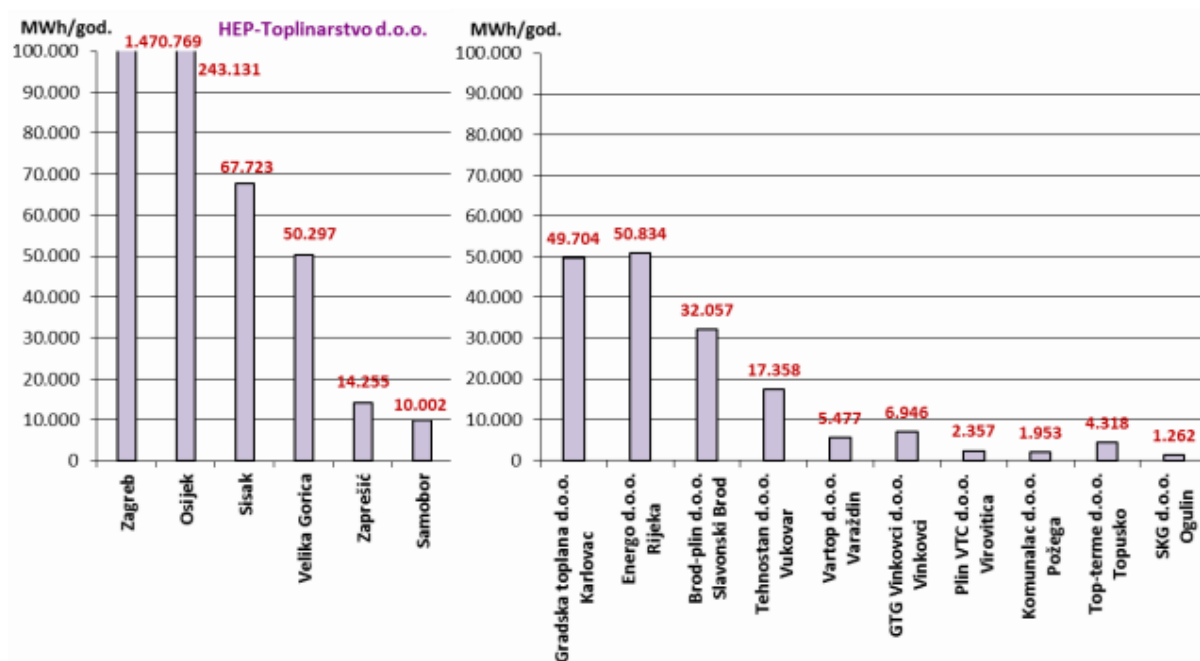
U Tablici 3.2. prikazani su osnovni tehnički podaci o energetskim subjektima u sektoru toplinske energije u hrvatskim gradovima. Ukupna duljina distribucijske mreže i vanjskih instalacija iznosi oko 430 km, a ukupno instalirana snaga oko 2,4 GW.

Tablica 3.2. Podaci o energetskim subjektima u sektoru toplinarstva u RH za 2014. [44]

ENERGETSKI SUBJEKT	Broj krajnjih kupaca	Duljina mreže	Ukupno instalirana snaga	Proizvedena toplinska energija	Isporučena toplinska energija	Grijana površina	Gorivo*
		km	MWt	GWh/god.	GWh/god.	m ²	
HEP-Proizvodnja d.o.o.			1.537,00	2.054,04			PP, LU
Zagreb			1.277,00	1.672,27			PP, LU
Osijek			190,00	276,31			PP, LU
Sisak			70,00	105,47			PP
HEP-Toplinarstvo d.o.o.	124.564	368,76	490,39	159,72	1.856,18	9.899.854	PP, LUEL, LUL
Zagreb	99.077	271,40	89,11	68,50	1.470,77	7.978.555	PP, LUEL
Osijek	11.708	56,20	167,61	7,21	243,13	1.105.719	PP, LUEL, LUL
Sisak	4.140	26,60	124,95	0,31	67,72	293.150	PP
Velika Gorica	5.893	9,82	69,61	56,94	50,30	335.233	PP, LUEL, LUL
Zaprešić	2.369	1,66	20,36	15,61	14,26	108.588	PP, LUEL
Samobor	1.377	3,08	18,75	11,15	10,00	78.609	PP, LUEL
Gradska toplana d.o.o., Karlovac	8.004	21,20	117,63	55,87	49,70	505.856	PP
Energo d.o.o., Rijeka	10.010	16,54	102,16	65,74	50,83	576.228	PP, LUEL, LU
Brod-plin d.o.o., Slavonski Brod	3.767	7,05	34,70	35,48	32,06	197.261	PP
Tehno stan d.o.o., Vukovar	3.670	7,22	45,94	18,94	17,36	204.319	PP, LU
Vartop d.o.o., Varaždin	1.429	1,57	27,10	9,60	5,48	75.014	PP
GTG Vinkovci d.o.o., Vinkovci	1698	1,60	17,83	7,19	6,95	89.695	PP, LU
Plin VTC d.o.o., Virovitica	481	0,90	9,80	3,33	2,36	30.020	PP
Komunalac d.o.o., Požega	417	0,80	5,40	1,95	1,95	19.839	PP
Top-terme d.o.o., Topusko	168	1,50	0,00	0,00	4,32	31.404	GEO
SKG d.o.o., Ogulin	126	0,45	4,40	1,79	1,26	8.137	LUL
UKUPNO	154.334	427,58	2.392,34	2.413,64	2.028,44	11.637.629	

* PP-prirodni plin, LU-lož ulje, LUEL-ekstra lako loživo ulje, LUL-lako loživo ulje, GEO -geotermalna energija

Energetski subjekti su u 2014. godini isporučili kućanstvima, poslovnim i industrijskim potrošačima preko 2 TWh toplinske energije (Slika 3.9.).



Slika 3.9. Isporučena toplinska energija u 2014. godini na tržištu toplinske energije u RH [44]

3.5.3. Glavna obilježja sektora toplinske energije

Glavna obilježja sektora toplinarstva u Republici Hrvatskoj su:

- tvrtke koje se bave energetske djelatnostima proizvodnje, distribucije i opskrbe toplinskom energijom pretežito su u vlasništvu jedinica lokalne samouprave, odnosno državnom vlasništvu, a samo manji broj u privatnom vlasništvu
- postrojenja i oprema za obavljanje toplinskih djelatnosti su zastarjela i dotrajala, s prosječnom starošću od 25 do 30 godina, što rezultira smanjenom efikasnošću sustava
- prodajna cijena toplinske energije, u većini gradova, ne pokriva troškove toplinske djelatnosti
- problem naplate potraživanja za isporučenu toplinsku energiju jer je većina instalacija grijanja unutar zgrade izvedena kao zajednička, tako da ne postoji mogućnost isključenja pojedinog stana/poslovnog prostora zbog neplaćanja
- nemogućnost kontrole potrošnje toplinske energije u pojedinom stanu/poslovnom prostoru priključenom na zajedničko mjerilo toplinske energije u toplinskoj podstanici (vrijedi za zgrade koje nisu ugradile termostatske radijatorske ventile, razdjelnike ili zasebna mjerila za svaku samostalnu uporabnu cjelinu)
- plaćanje troškova za isporučenu toplinsku energiju uglavnom prema raspodjeli zajedničke potrošnje na temelju udjela grijane površine pojedinog stana u ukupnoj površini svih stambenih prostora priključenih na isto mjerno mjesto, a ne prema stvarnoj potrošnji stana (vrijedi za zgrade koje nisu ugradile razdjelnike ili zasebna mjerila za svaku samostalnu uporabnu cjelinu).

Rezultat ovakvog stanja je da većina tvrtki koje se bave toplinskom djelatnošću posluje dugi niz godina s gubicima te nema mogućnosti za ulaganja u revitalizaciju i razvoj toplinskih sustava. Iz podataka o proizvedenoj i isporučenoj energiji za sve toplinske sustave i za sve energetske subjekte u Republici Hrvatskoj, prikazanih u Tablici 3.2., proizlazi da su prosječni toplinski gubici u distribuciji u 2014. godini iznosili oko 16%. Prema Metodologiji [45] HERA priznaje stvarno ostvarene gubitke u vrelovodnoj/toplovodnoj distribucijskoj mreži, maksimalno do 10%. Ograničenje u povećanju cijena toplinske energije motivira tvrtke na pronalaženje unutarnjih pričuva koje su u djelatnosti distribucije toplinske energije najviše izražene u smanjenju toplinskih gubitaka, optimiziranju upravljanja i vođenja distribucijskog sustava te donošenju potrebnih odluka o ulaganju u sustav kako bi mogli podići razinu kvalitete usluge.

4. OSNOVE *LEAN*-a

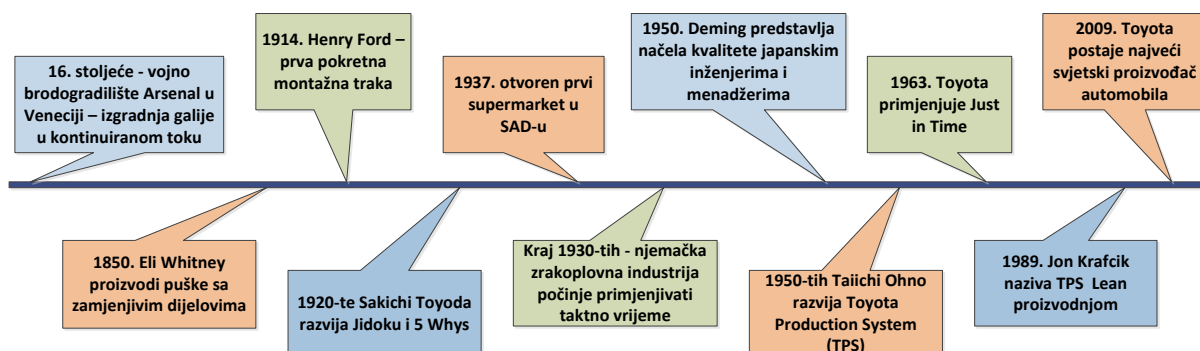
Značenje riječi *lean* u pojmovima uz koje se najčešće povezuje, kao što su proizvodnja, upravljanje, metodologija i razmišljanje, može se sažeti u to kako sa što manje napraviti što više. *Lean* upravljanje je koncept upravljanja proizvodnjom, razvojem proizvoda i uslugama koji ima za cilj stvoriti točno određenu i ciljanu vrijednost za kupca (Slika 4.1.). To znači stvoriti proizvode i usluge bolje kvalitete, uz korištenje manje ljudskog rada, prostora, kapitala, informacija i vremena, kroz uravnotežen i brzi tok koji se ostvaruje otklanjanjem poremećaja i gubitaka u procesu te postizanjem fleksibilnosti [46]. Neprestano poboljšavanje te smanjenje upotrebe resursa, uključujući i energiju, značajan je dio filozofije *Lean* upravljanja.



Slika 4.1. Ciljevi *Lean* upravljanja [46]

4.1. Povijest *Lean* proizvodnje

Iako većina *lean* načela i alata ima svoje porijeklo u uspješnoj priči o Toyotinom proizvodnom sustavu (*TPS*), brojni su primjeri koji pokazuju da su puno ranije na različitim lokacijama i u različito vrijeme postojali elementi karakteristični za pojedine proizvodne sustave toga vremena koji su sastavni dio današnjih *lean* sustava. U [47] se navode primjeri iz različitih zemalja koji su doprinijeli povijesnom razvoju *Lean* proizvodnje, od kojih su neki prikazani na Slici 4.2.



Slika 4.2. Povijest *Lean* proizvodnje

Koristeći iskustva iz tekstilne industrije, usvajajući određene elemente proizvodnje Fordovog sustava i onoga što su kod drugih vidjeli i prepoznali kao vrijednost, prilagođavajući to svojim potrebama i razvijajući vlastite izume (*Jidoka*, *Just in Time*, *Kanban*), Toyotini proizvodni menadžeri stvorili su tzv. hibridni proizvodni sustav [48], čije osnovne značajke su prikazane na Slici 4.3.

TPS pokazuje da se korištenjem znanja i orijentiranošću na kupca, kontinuiranim otklanjanjem gubitaka i stvaranjem vrijednosti može značajno smanjiti neefikasnost u proizvodnji [49]. Kako bi uklonili gubitke *TPS* je koristio slijedeća načela [51]:

- osigurati proizvodnju bez grešaka
- poticati *pull* procese umjesto *push* procesa
- stvarati multifunkcionalne timove u organizaciji
- decentralizirati donošenje odluka
- koristiti vertikalni sustav informiranja i
- osigurati kontinuirana poboljšanja.



Slika 4.3. Toyotin proizvodni sustav [50]

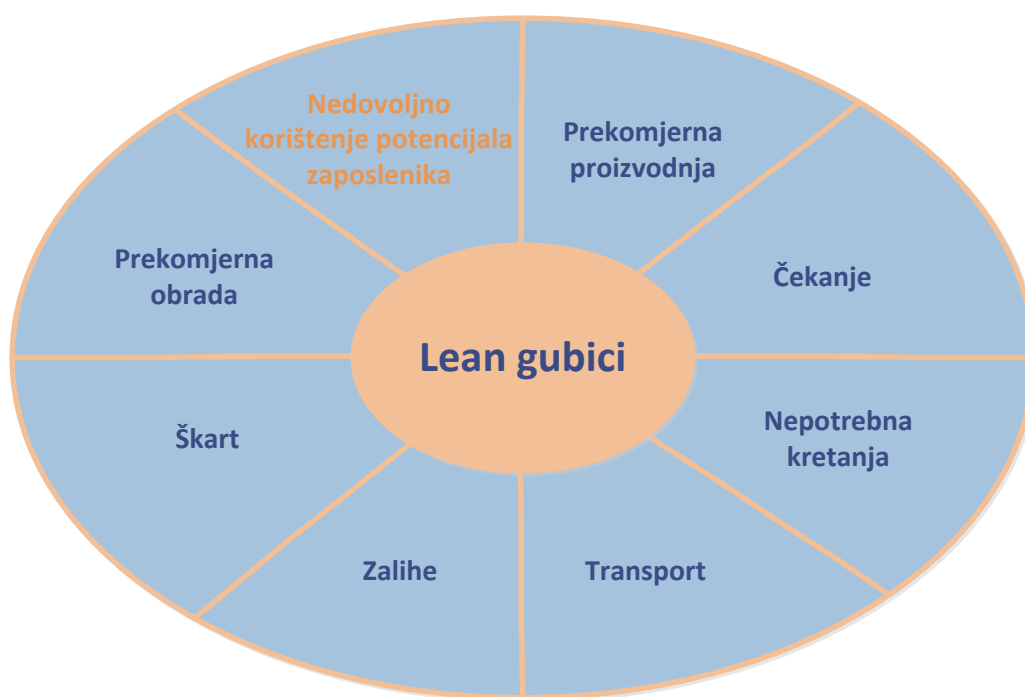
Uveli su načelo povlačenja (*pull*) tako da su proizvodnju započinjali tek kada je stigla narudžba kupca i tako su bili sigurni da će proizvod biti prodan. Uvođenjem ovog načela znali su i kakav automobil kupac želi. Kupac je uvijek u mislima, samo aktivnosti koje stvaraju vrijednost za kupca trebaju biti u procesu, sve ostalo je gubitak. Ovakav pristup rezultirao je poboljšanjem kvalitete proizvoda i smanjenjem troškova poslovanja.

Početkom 1980-ih zapadne su tvrtke uvidjele da su japanski proizvođači konkurentniji. Skupina znanstvenika iz *MIT-a* započela je, u sklopu istraživačkog projekta *IMVP* proučavati i analizirati proizvodni sustav u Toyoti, predvodnici japanske automobilske industrije. Svoja petogodišnja istraživanja predstavili su u knjizi [53], u kojoj su, uspoređujući različite svjetske proizvođače automobila, potvrdili da su japanski proizvođači produktivniji i uspješniji zahvaljujući njihovom unaprjeđivanju procesa i načinu organizacije u proizvodnim sustavima. U Toyoti se s manjim investicijama postiže željena razina proizvodnog kapaciteta i kvalitete, proizvodni procesi su brži, događa se manje pogrešaka, nemaju velike količine robe na skladištu i imaju manje dobavljača. Opisani način proizvodnje u [52] nazvan je *Lean* proizvodnja. Riječ *lean* prvi je upotrijebio John F. Krafcik 1988. godine u [53] uspoređujući proizvodne sustave u Fordu i Toyoti nazivajući ih *buffered production system (Fordism)* i *lean production system (TPS)*.

4.2. *Lean* gubici

U proizvodnim ili uslužnim procesima, koje promatramo kao tok vrijednosti, gubici (rasipanje, otpad) podrazumijevaju sve aktivnosti koje predstavljaju trošak, a ne doprinose povećavaju vrijednosti za kupca. *Lean* upravljanje usmjereno je na prepoznavanje i uklanjanje tih gubitaka.

TPS navodi sedam vrsta gubitaka u proizvodnji [49]: prekomjerna proizvodnja, zalihe, transport, čekanje, nepotrebna kretanja, škart i prekomjerna obrada (Slika 3.4.), a *Lean* ovim gubicima pridodaje i nedovoljno korištenje potencijala zaposlenika.



Slika 4.4. 7+1 vrsta *Lean* gubitaka

Prekomjerna proizvodnja

Jedan od glavnih gubitaka, nastaje kada se izrađuje nešto prije nego što postoji potreba i tako dovodi do stvaranja viška zaliha koje se često znaju koristiti za prikrivanje stvarnih problema i neučinkovitosti. Ovaj gubitak obuhvaća [54]:

- stvaranje proizvoda koji se ne mogu plasirati na tržište
- izvođenje pojedinih operacija koje nisu nužne
- stvaranje dokumentacije koju nitko ne zahtijeva ili koja se uopće neće kasnije koristiti (prekomjerna administracija)

- loše predviđanje zahtijeva tržišta i neodgovarajuća procjena plana prodaje
- slanje uputa prema previše ljudi
- proizvodnju za svaki slučaj.

Ovaj gubitak moguće je smanjiti i ukloniti primjenom slijedećih *Lean* alata i tehnika [55]:

- Taktno vrijeme: kako bi uskladili stopu proizvodnje sa stopom potražnje kupaca
- *Kanban*: primjenom sustava povlačenja kontrolira se količina proizvedenog.

Zalihe

Višak zaliha povezan je s prekomjernom proizvodnjom, nastaje kada su količine robe (sirovina, poluproizvoda i gotovih proizvoda) veće od trenutnih potrebe tako da nepotrebno angažiraju novac i prostor te troše vrijeme [54]. Kako bi se zalihe smanjile treba, uz navedene protumjere za prekomjernu proizvodnju, primjenjivati i [55]:

- *JIT*: dostavljati samo one sirovine za koje postoji potreba
- *Kontinuirani tok*: kako bi se smanjile međuzalihe između proizvodnih operacija.

Transport

Gubici transporta nastaju uslijed [54]:

- nepotrebnog kretanja materijala (obradaka), poluproizvoda i gotovih proizvoda između operacija ili između skladišnih površina
- korištenja starih, neučinkovitih rasporeda (*layout*) kretanja materijala
- neučinkovitog transporta informacija
- neuspješne komunikacije tako da dolazi do gubitka podataka, nekompatibilnosti, nepouzdanosti informacija i sl.

Mogu se umanjiti korištenjem [55]:

- *Kontinuiranog toka*: kako bi se uvjerali da se ne radi o proizvodnji za svaki slučaj.

Čekanje

Gubitak vremena zbog čekanja [54]:

- materijala između operacija
- na isporuku sirovina
- radnika na strojevima
- podataka, rezultata testova, potrebnih informacija, odluka, potpisa, odobrenja i sl.

Obavljanje sljedećeg koraka u procesu proizvodnje kasni, za to vrijeme nema dodavanja vrijednosti proizvodu. Vrijeme od narudžbe do isporuke treba biti što bliže stvarnom vremenu proizvodnje u kojem se dodaje vrijednost proizvodu. U tome će pomoći [55]:

- *Standardizirani rad*: koriste se standardizirane upute za rad kako bi se osigurala dosljednost i predviđeno vrijeme za obavljanje pojedinih proizvodnih operacija.

Nepotrebna kretanja

Gubitak koji obuhvaća nepotrebna kretanja ljudi i opreme tj. ona kretanja koja ne dodaju vrijednost, a posljedica su [54]:

- neodgovarajućeg rasporeda strojeva
- kretanja radnika kako bi došli do informacija
- ručnog rada kako bi se nadomjestili određeni nedostaci u proizvodnji.

Škart

Prekid toka vrijednosti promatranog procesa zbog grešaka, zatim nepotpune, netočne i nepravodobne informacije [54], proizvodnja loših proizvoda ili proizvoda koji traže dodatnu obradu, predstavljaju čisti gubitak koji se može spriječiti primjenom sljedećih alata [55]:

- *Poka-Yoke*: projektiranje procesa s manjom vjerojatnošću za proizvodnju pogrešaka
- *Jidoka*: projektiranje procesa s otkrivanjem pogrešaka da se mogu odmah otkloniti
- *5 Whys*: kako bi se pronašlo i utvrdilo zašto je do kvara došlo
- *Standardizirani rad*: osiguranje dosljednosti u načinu proizvodnje.

Prekomjerna obrada

Gubitak koji nastaje kao posljedica [54]:

- predimenzioniranosti strojeva,
- krive ili nedostatne tehnološke opreme,
- čišćenja između obrade
- neodgovarajućeg pripremno-završnog vremena
- previše procesa obrade
- pre detaljne obrade (primjenjuje viša razina obrade proizvoda od one koju kupac želi)
- loše konstrukcije proizvoda koja zahtijeva previše koraka obrade (složen proizvod).

Da bi se to moglo otkriti i uspješno ukloniti treba ispravno primijeniti *Kaizen* kako bi se usporedili zahtjevi kupaca s proizvodnim mogućnostima i pronašla moguća pojednostavnjenja procesa proizvodnje [55].

Nedovoljno korištenje potencijala zaposlenika

Gubitak koji se pojavljuje zbog izgubljenih prilika zbog smanjenja motivacije i kreativnosti radnika koje su posljedica umanjivanja doprinosa radnika od strane menadžmenta, loše politike zapošljavanja i rukovođenja. Potrebno je uključiti sve radnike u aktivnosti kontinuiranog poboljšanja procesa (*Kaizen*), razvijati njihovu kreativnost i usmjeravati ih na radne zadatke kojima je cilj ukloniti gubitke i poboljšati kvalitetu rada [55].

4.3. *Lean* razmišljanje

Lean razmišljanje je koncept koji se godinama razvijao i čije su osnovne značajke bile prisutne u radovima H. Forda, W. E. Deminga i Toyota proizvodnom sustavu. Po prvi put pojam *Lean* razmišljanja sažet je i opisan u [51], kao razmišljanje kojem su osnovne značajke:

- usmjerenost prema kupcu i stvaranju vrijednosti za kupca
- procesni pristup i upravljanje poslovnim procesima te
- težnja k neprestanom poboljšanju procesa.

U *lean* sustavima se kvaliteta nastoji osigurati već u fazi razvoja proizvoda i usluge, u skladu sa zahtjevima i potrebama kupaca, dok se kod tradicionalnih organizacija kvaliteta kontrolira od strane različitih inspekcija tek na kraju procesa. U *lean* poduzećima najveću vrijednost predstavljaju radnici, koje se ne promatra i ne doživljava kao trošak, nego kao potencijal koji treba zainteresirati, stimulirati i razviti kako bi razmišljali o procesu u kojem sudjeluju, bili samoinicijativni, iznosili ideje i kroz timski rad doprinosili poboljšanju procesa.

Kako bi *lean* koncept učinili praktičnijim i primjenjivijim autori u [51] navode pet načela *Lean* razmišljanja, prikazanih na Slici 4.5., koja poduzeće treba primjenjivati ako želi uistinu postati *lean*:

➤ *Vrijednost iz perspektive kupca*

Vrijednost je kritična polazna točka *Lean* razmišljanja i ona treba biti jasno određena, isključivo iz perspektive kupca proizvoda ili korisnika usluge. Da bi to bilo moguće nužno je imati izgrađene dobre odnose s kupcima i jasnu komunikaciju, poznavati zahtjeve i potrebe kupca kako bi razumjeli što proizvod ili usluga predstavljaju kupcu i s toga stajališta pokušati odrediti vrijednost. Točno definiranje vrijednosti na opisani način preduvjet je za uspjeh

procesa daljnjeg razvoja proizvoda ili usluge koji se temelji na osiguravanju zadanih vrijednosti. Cilj je osigurati vrijednost za kupca uklanjajući pri tome sve elemente koji ne doprinose stvaranju vrijednosti.



Slika 4.5. Osnovna *Lean* načela

➤ *Tok vrijednosti*

Tok vrijednosti predstavlja skup svih aktivnosti koje neposredno ili posredno sudjeluju u stvaranju proizvoda ili usluge i doprinose povećanju njihove vrijednosti u skladu sa zahtjevima kupca. Ispravno i točno određivanje toka vrijednosti je ključni korak za prepoznavanje i uklanjanje gubitaka u proizvodnom ili uslužnom procesu. Stoga je nužno prikazati tok vrijednosti korak po korak na cijelom putu stvaranja proizvoda ili usluge kako bi se gubici prepoznali. Aktivnosti u procesima se, sa stajališta dodavanja vrijednosti, mogu podijeliti na:

- aktivnosti koje dodaju vrijednost proizvodu ili usluzi (VAT)
- aktivnosti koje ne dodaju vrijednost (NVAT) – neophodni gubitak i
- aktivnosti koje ne dodaju vrijednost (WT) – čisti gubitak.

Aktivnosti koje dodaju vrijednost su one koje su preoblikovale proizvod ili uslugu, koje su izvedene prvi put i na pravi način i za koje je kupac spreman platiti. Ako aktivnost ovo ne ispunjava ona ne dodaje vrijednost i predstavlja gubitak ili otpad. *Lean* traži nepotrebne postupke i gubitke i u aktivnostima koje dodaju vrijednost i koje ne dodaju vrijednost. Praksa

je pokazala da je veći prostor za poboljšanje u aktivnostima koje ne stvaraju vrijednost, tako da je izraženija usmjerenost *Lean-a* na ove aktivnosti.

➤ **Protočnost**

Smanjivanjem i uklanjanjem prepoznatih gubitaka osigurat će se protočnost proizvodnog ili uslužnog procesa, koji će se odvijati samo kada za to postoji potreba temeljena na zahtjevu kupca. Za ujednačeno i kontinuirano odvijanje procesa potrebno je preoblikovati i način obavljanja pojedinih aktivnosti koje dodaju vrijednost, što najčešće podrazumijeva reorganizaciju opreme i ljudi, kako bi se poboljšali ključni pokazatelji procesa.

➤ **Povlačenje**

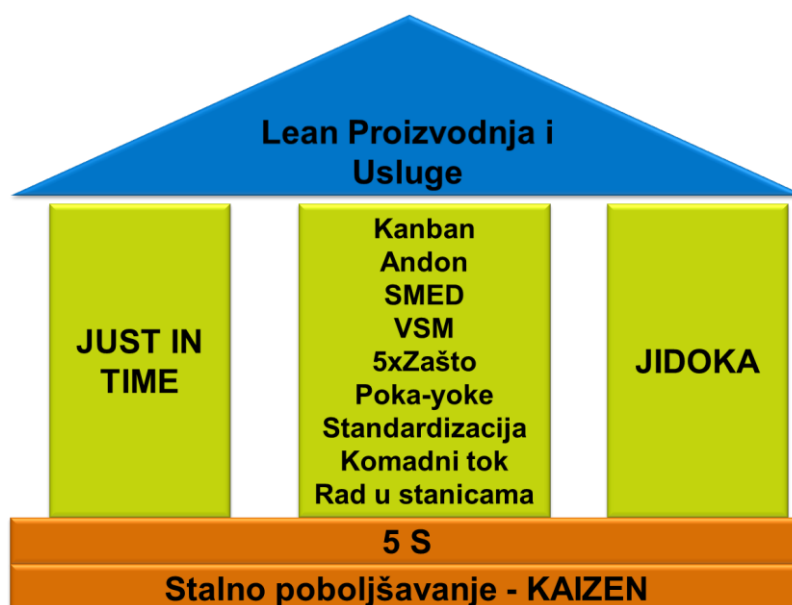
Načelo povlačenja (*pull*) znači da proizvodni ili uslužni proces započinje tek kada postoji zahtjev poznatog kupca, ne proizvodi se za nepoznatog kupca tj. za skladište (*push*). Potražnjom kupca za proizvodom ili uslugom pokreću se procesi prikazani u toku vrijednosti na način da svaki korak u procesu pokreće prethodni prenoseći mu informaciju o potrebi njegovog pokretanja. Tako se pokreću sve aktivnosti unutar toka vrijednosti stvaranja proizvoda ili usluge, one koje dodaju vrijednost i one koje ne dodaju vrijednost, ali su potrebne za odvijanje procesa. Primjenjujući načelo povlačenja proizvodni i uslužni sustavi povećavaju svoju prilagodljivost kako bi uspjeli zadovoljiti zahtjeve kupaca u traženom roku.

➤ **Izvrsnost**

Procese treba neprekidno poboljšavati kako bi se postigao bolji način u stvaranju vrijednosti za kupca i tako osigurala izvrsnost proizvoda ili usluge koju kupac želi. Kupci traže promjene te se stoga i procesi u kojima se stvaraju traženi proizvodi ili usluge također moraju mijenjati kako bi se zadovolji njihovi zahtjevi. Kontinuirano usavršavanje je jedna od osnovnih značajki *lean* sustava, stalno se provodi i nužno je ako se želi biti korak ispred konkurencije. Vrlo bitna je transparentnost sustava tako da svatko može vidjeti sve, što olakšava pronalaženje boljeg načina u stvaranju vrijednosti i postizanju izvrsnosti. Sve to doprinosi razvoju i izgradnji jednog ispravnog pogleda koji će osigurati da se mogu otkriti sadašnje potrebe kupaca, te predvidjeti njihove buduće potrebe.

4.4. *Lean* alati i tehnike

Za uklanjanje gubitaka i postizanje navedenih *lean* načela koriste se brojne tehnike i alati od kojih su najpoznatiji prikazani na Slici 4.6. Učinkovitost primjene ovih alata i tehnika ovisi najviše o zaposlenicima, koji prema *Lean-u* predstavljaju najveću vrijednost poduzeća. Stoga i najveću pozornost treba posvetiti zaposlenicima kako bi ih se osposobilo da nauče prepoznati aktivnosti koje ne dodaju vrijednost, usmjeravalo ih na usvajanje *Lean* razmišljanja i poticalo na kontinuirano poboljšavanje sustava korištenjem *lean* alata i tehnika.



Slika 4.6. Alati *Lean* proizvodnje i usluga [46]

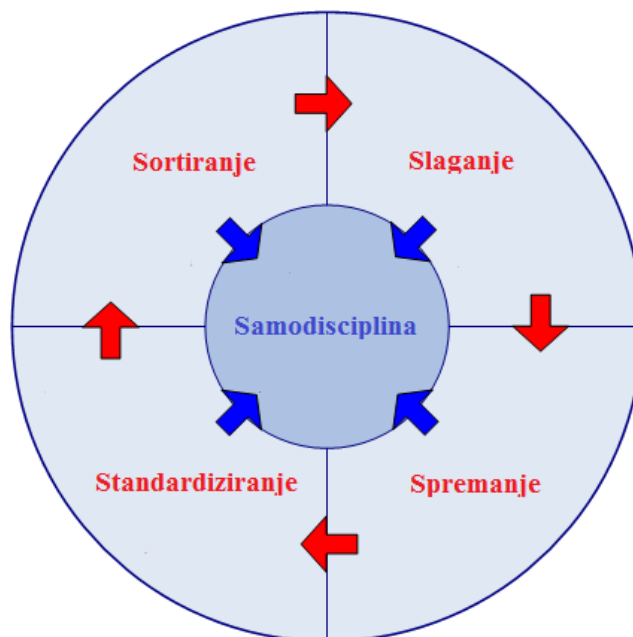
Opisat će se one tehnike i alati koji će se kasnije primijeniti u izradi modela praćenja učinkovitosti procesa distribucije toplinske energije primjenom *lean* načela:

➤ 5S

Jedan od temeljnih alata *Lean-a* uz pomoć kojeg se postiže urednost i dobra organiziranost radnog prostora te na taj način doprinosi smanjenju i uklanjanju gubitaka (čekanja, transporta i nepotrebnih kretanja) koji se pojavljuju u neorganiziranom radnom mjestu i prostoru (Slika 4.7.). U tu svrhu koristi se pet aktivnosti [54]:

- *Seiri (Sort)* – sortiranje: odabiru se samo alati i materijali neophodni za rad, sve ostalo što je nepotrebno treba ukloniti iz radnog prostora, a ono što se ne koristi često odlaže se u posebna spremišta

- *Seiton (Straighten)* – slaganje, red: stvari koje su ostale za korištenje treba posložiti prema onom redoslijedu kako se koriste tako da ih se može jednostavno pronaći i koristiti te tako smanjiti nepotrebna kretanja
- *Seiso (Scrub)* – spremanje, čišćenje: održavanje čistog i urednog radnog prostora
- *Seiketsu (Standardize)* – standardiziranje: postavljene norme vezano za sortiranje, slaganje i spremanje trebaju biti prihvaćene i primijenjene tako da postaju standardi
- *Shisuke (Sustain)* – samodisciplina: najvažniji zahtjev kojim se postiže i osigurava održavanje uvedenih načela sve dok ne prijeđu u rutinu kako bi se izbjegao povratak starim navikama.



Slika 4.7. Metoda 5S [56]

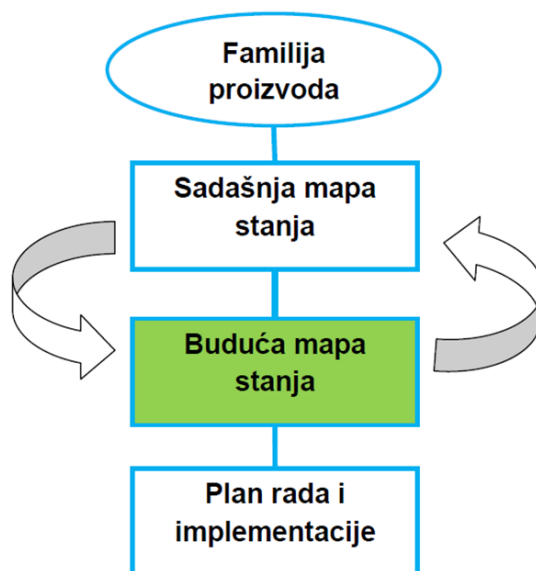
➤ *VSM (Value Stream Mapping)*

Plan ili mapiranje toka vrijednosti je alat koji se primjenjuje za vizualizaciju toka proizvodnog ili uslužnog procesa. Predstavlja način da se sve aktivnosti, procesi i tokovi (materijalni i informacijski), stave na jedno mjesto, međusobno dovedu u vezu, počevši od sirovine pa sve do gotovog proizvoda, tj. sve do kupca [57]. Tok vrijednosti uključuje sve aktivnosti (i one koje dodaju vrijednost i one koje ne dodaju vrijednost) koje se javljaju u proizvodnom ili uslužnom procesu od narudžbe do isporuke. Glavni cilj je snimiti postojeće stanje i prepoznati sve oblike rasipanja. Pri tome je najbolje sve bitne informacije prikupiti samostalno na licu mjesta, jer podaci koji se nalaze u raznim dokumentima i datotekama

najčešće ne predstavljaju stvarno stanje, već vrlo često idealno stanje.

Osnovni koraci mapiranja toka vrijednosti su (Slika 4.8.):

- izbor procesa koji se žele mapirati (u proizvodnom procesu je to familija proizvoda koji predstavljaju povezani lanac vrijednosti)
- crtanje mape postojećeg stanja
- unaprjeđenje mape postojećeg stanja u mapu budućeg stanja
- razvijanje plana aktivnosti poboljšanja za ostvarivanje budućeg stanja
- dodjeljivanje odgovornih osoba, rokova i učestalosti nadgledanja odvijanja aktivnosti
- izvještavanje nadređenih od strane odgovornih osoba u svrhu kontrole izvršenosti aktivnosti provođenja te podrške i usavršavanja.



Slika 4.8. Postupak mapiranja toka vrijednosti [57]

➤ ***Kaizen***

Kaizen je strategija kontinuiranog poboljšanja proizvodnog i uslužnog procesa koja se ostvaruje kroz zajednički rad i aktivno sudjelovanje svih radnika u uklanjanju gubitaka [58]. Predstavlja japansku poslovnu filozofiju života i rada:

- svi zaposlenici, i menadžeri i radnici u pogonu, aktivno sudjeluju u predlaganju i ostvarenju poboljšanja i na taj način se stvara osjećaj zajedništva u poduzeću
- organiziraju se *Kaizen* radionice, koje su usmjerene poboljšanju određenog područja u poduzeću, u koje su uključeni timovi zaposlenika na svim razinama, s posebnim naglaskom na radnike u pogonu.

Kaizen aktivnosti predstavljaju ciklus sastavljen od slijedećih koraka:

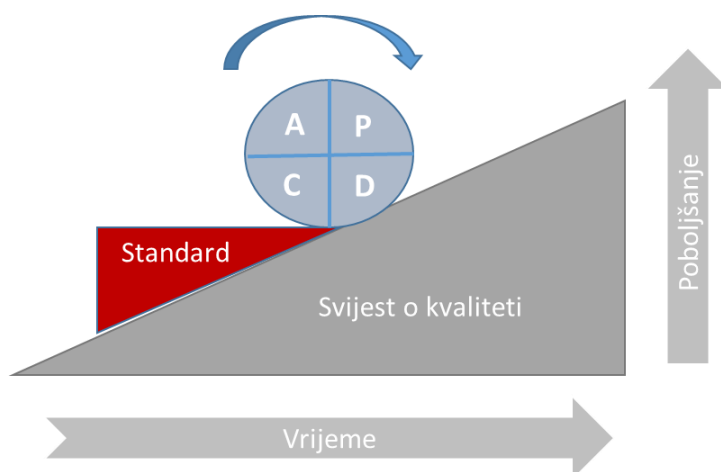
- postaviti cilj i osigurati potrebnu podršku
- utvrditi trenutno stanje i razviti plan poboljšanja
- provesti poboljšanja
- provjeriti što nije odrađeno
- izvijestiti o rezultatima i odrediti slijedeći korak.

Ovo su aktivnosti tzv. *PDCA* ciklusa i predstavljaju znanstveni pristup koji Kaizen koristi u postupku kontinuiranog poboljšanja procesa: *Plan* (razviti hipotezu), *Do* (obaviti eksperiment), *Check* (vrednovati rezultate) i *Act* (poboljšaj eksperiment i započni novi krug).

Provođenje uspješnih *Kaizen* radionica i aktivnosti uči zaposlenike da o svom radu počnu drugačije razmišljati, što pridonosi stvaranju dugoročne vrijednosti razvijajući kulturu koja je nužna za ostvarenje učinkovitih poboljšanja.

➤ *Standardizirani rad*

Standardizirani rad skuplja trenutno najbolje prakse za obavljanje pojedinih procesa, uključujući i vrijeme potrebno za njihovo obavljanje [58]. Dosljedno primjenjujući najbolju praksu uklanjaju se gubici i stvara temelj za buduća poboljšanja. Kaizen pronalazi rješenja za poboljšavanje tih procesa, koja se kasnije dokumentiraju i postaju novi standardi za obavljanje procesa (Slika 4.9.).



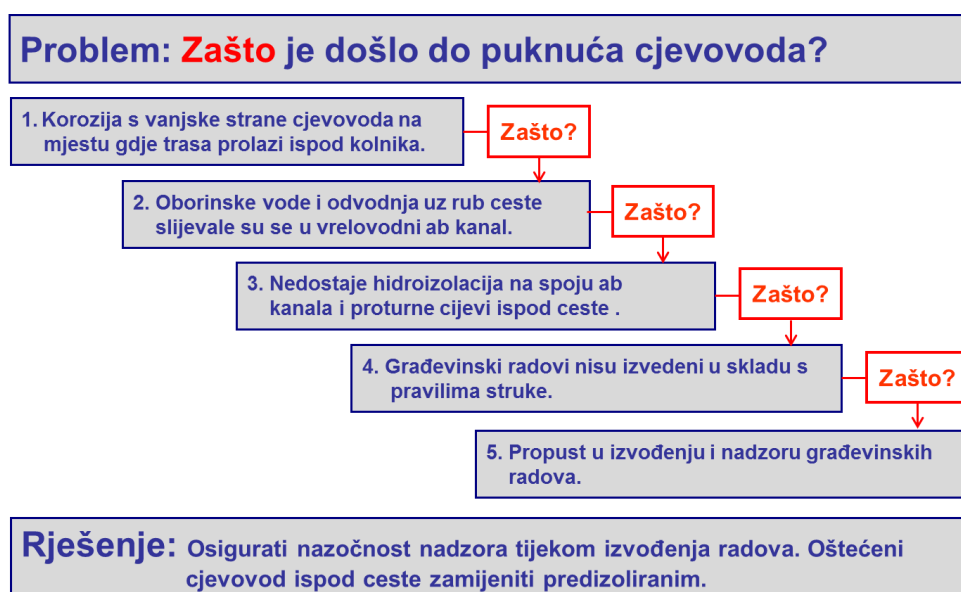
Slika 4.9. Standardizacija pomoću *PDCA* ciklusa [59]

➤ *Poka-Yoke*

Metoda za onemogućavanje pogrešaka u proizvodnim procesima (*poka* u prijevodu znači pogreška, a *yoke* znači sprječavanje). Kako bi se spriječile pogreške od strane radnika konstruiraju se *poka-yoke* uređaji, tako da ne dozvole pogreške u procesu obrade i prijenos neispravnog dijela u sljedeći proces. Uređaji su obično jednostavne izvedbe, nisu skupi, manje se kvare, lakše se kontroliraju i održavaju. Za dobro projektiranje uređaja potrebno je točno analizirati proizvodne procese i odrediti jasan cilj što se želi postići u proizvodnji. Radnici se ohrabruju da što aktivnije budu uključeni u fazi projektiranja *poka-yoke* uređaja, jer isti olakšavaju rad radnika, smanjuju stres i mogućnost njihove pogreške. Vrijeme koje bi potrošili na provjeru proizvoda mogu iskoristiti za obavljanje drugih aktivnosti ili odmor. *Poka-Yoke* uređaji su bolje rješenje od kontrole kvalitete proizvoda tek po završenoj seriji, jer je tada već kasno za otklanjanje pogreške. U *Lean* proizvodnji nema zaliha tako da kupac, u slučaju pogreške na proizvodu, mora čekati novu proizvodnju tog proizvoda s traženim zahtjevima.

➤ *5 Whys*

5 Whys (5 x Zašto) je metodologija koja se usredotočuje na rješavanje temeljnih problema umjesto na brze popravke koji obično rješavaju samo posljedice, ne i uzroke [58]. Postavljajući si pet puta pitanje zašto se nešto događa, u svakom koraku se otkriva ponešto što u konačnici dovodi do otkrivanja pravog problema i tako pomaže da se primjeni odgovarajuća korektivna mjera kako bi se isti riješio i otklonio (Slika 4.10.).



Slika 4.10. *5 Whys*

➤ ***TPM (Total Productive Maintenance)***

Cjelokupno produktivno održavanje predstavlja cjelovit pristup održavanju koji je usmjeren na proaktivno i preventivno održavanje kako bi se povećala produktivnost tj. vrijeme koje oprema provodi u radu [58]. I tradicionalni i moderni *TPM* modeli temelje se na *5S* načelima, jer i kada se koristi tehnološki naprednija oprema u proizvodnji, u dobro organiziranom i čistom radnom prostoru alati i materijali brže će se pronaći i po potrebi zamijeniti, lakše zaustaviti istjecanja ulja, maziva, rashladnih tekućina, spriječiti različite nezgode, povrede na radu i sl.

Primjena *TPM-a* omogućuje povećanje raspoloživosti opreme (strojeva) što je jedan od ključnih preduvjeta za ostvarenje bolje protočnosti procesa proizvodnje [60]. Osnovne značajke *TPM-a* sastoje se u otklanjanju 6 glavnih gubitaka vezanih za opremu (strojeve):

- kvarovi
- montaža / podešavanje
- kratka zaustavljanja
- smanjenje brzine proizvodnje
- gubici uhodavanja i
- proizvodni gubici.

Lean razmišljanje nastoji ukloniti gubitke vezane za čovjeka, stroj, materijal i metode rada, u svim aspektima procesa proizvodnje. *TPM* se bavi područjem gubitaka koja se odnose isključivo na opremu i strojeve koji su sastavni dio nekog proizvodnog procesa. Uvođenje i primjena *TPM-a* je preduvjet za uspješno provođenje *lean* transformacije u poduzeću. *TPM* aktivnosti mogu značajno pomoći u procesima gdje stroj obavlja aktivnost koja dodaje vrijednost proizvodu i tako igra bitnu ulogu u uvođenju *Lean-a*. Svaki od osnovnih elemenata *Lean* proizvodnje (protočnost, taktno vrijeme, standardizirani rad i *pull* načelo) pretpostavlja dovoljnu raspoloživost strojeva i opreme.

➤ ***Analiza uskog grla (Bottleneck Analysis)***

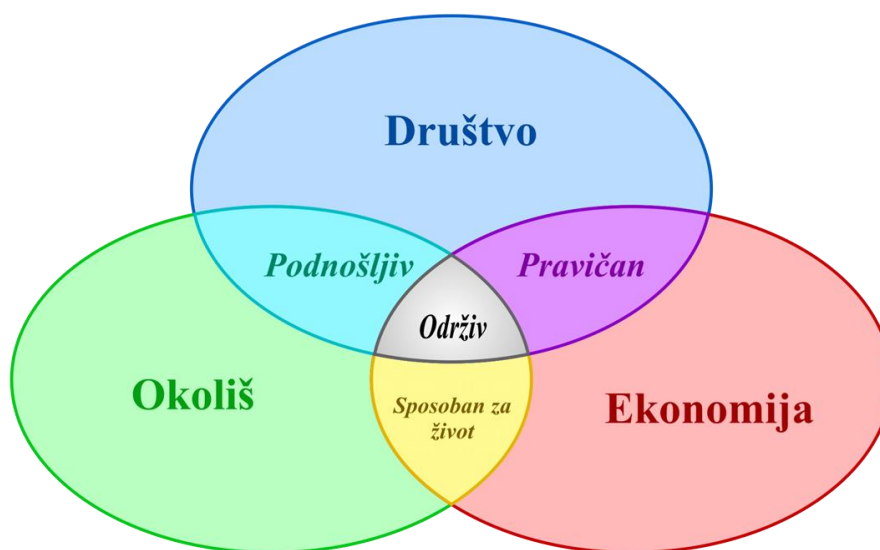
Analizom proizvodnih procesa prepoznaju se dijelovi koji predstavljaju "usko grlo" i ograničavaju ukupnu propusnost procesa [58]. Jačanjem ovih najslabijih dijelova poboljšava se propusnost u procesu proizvodnje.

➤ *Andon*

Vizualni sustav u proizvodnom pogonu koji daje povratne informacije o stanju proizvodnje, upozorava na potrebnu pomoć i signalizira ovlaštenim operaterima kada trebaju zaustaviti proizvodni proces [58]. Djeluje kao komunikacijski alat proizvodnog pogona koji neprestano brine o problemima i kada se pojave ukazuje na njih kako bi se odmah moglo pristupiti njihovom otklanjanju.

4.5. *Green* proizvodnja

Primjena *Lean* razmišljanja u promatranju utjecaja proizvodnog sustava na okoliš s ciljem smanjenja štetnih utjecaja i zaštite okoliša dovodi nas do pojma *Green* proizvodnje. Pristupa se proizvodnji i uslugama na način da se minimizira otpad, potrošnja energije i zagađenje okoliša, što se postiže kroz procese te oblikovanjem proizvoda i usluga [46]. *Lean* i *Green* proizvodnju karakterizira najmanji utrošak resursa i energije, zatvoreni ciklus proizvodnje, korištenje obnovljive energije i niske (nula) emisije štetnih plinova. Održivi razvoj treba zadovoljiti potrebe sadašnjosti bez ugrožavanja mogućnosti da buduće generacije zadovolje vlastite potrebe (Slika 4.11.).



Slika 4.11. Održivi razvoj [46]

Green proizvodnja prepoznaje sedam vrsta tzv. *green* gubitaka: energiju, vodu, materijal, otpad, transport, emisije i bioraznolikost.

➤ **Energija**

Gubici koji se u proizvodnom ili uslužnom procesu pojavljuju zbog veće potrošnje svih oblika energije od potrebnog, te zbog nekorištenja otpadne energije i energije proizvedene iz obnovljivih izvora.

➤ **Voda**

Procesi u kojima se troše veće količine vode trebaju se temeljito analizirati kako bi se prekomjerna potrošnja smanjila, a time i značajni novčani izdaci obzirom na visoku cijenu vode. Tamo gdje je to moguće i opravdano, otpadne vode iz procesa treba pročišćavati i ponovno ih koristiti.

➤ **Materijal**

Ovi gubici nastaju uglavnom zbog primjene štetnih i neodgovarajućih materijala u proizvodnim i uslužnim procesima. Treba koristiti materijale prihvatljive za okoliš, materijale koji se mogu reciklirati i ponovno koristiti bilo u istom procesu ili u neke druge korisne svrhe.

➤ **Otpad**

Gubici koji najčešće nastaju zbog neodgovarajuće ambalaže, načina pakiranja proizvoda i nekih drugih dodataka koji se jednokratno koriste i zatim bacaju.

➤ **Transport**

Gubici zbog nepotrebnog kretanja ljudi, materijala, proizvoda i informacija koja štetno djeluju na okoliš.

➤ **Emisije**

Korištenje neodgovarajućih tehnologija, energenata i prekomjerna potrošnja energije imaju za posljedicu veće emisije štetnih plinova, a time i povećane troškove za emisije. Treba koristiti čiste tehnologije, otpadnu energiju, obnovljive izvore i racionalno gospodariti potrošnjom energenata i svih oblika energije.

➤ **Bioraznolikost**

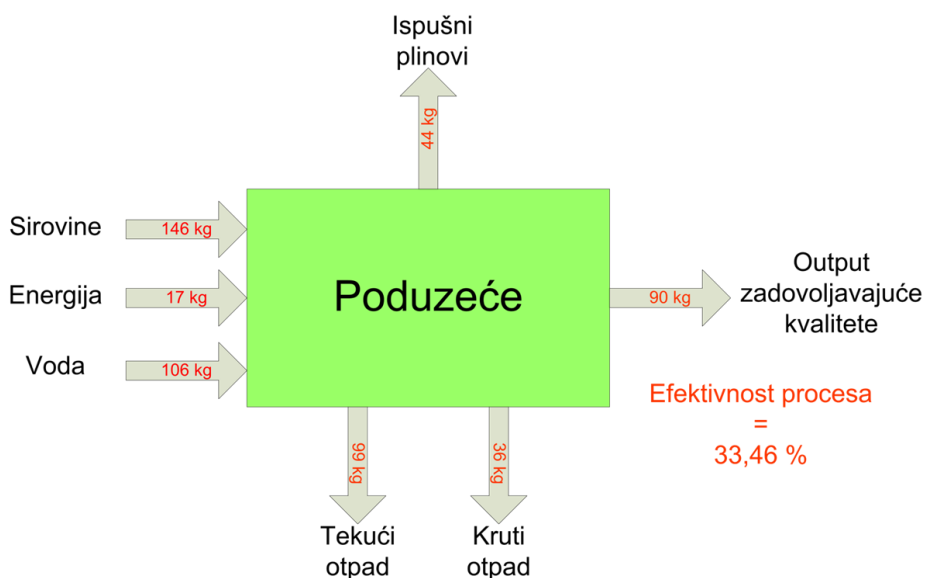
Uništavanje životinjskog i biljnog svijeta koje nastaje kao posljedica narušene ravnoteže ekosustava uslijed prekomjernog iskorištavanje prirodnih resursa.

4.6. Alati *Green* proizvodnje

Kako bi se postigla *green* proizvodnja, smanjili ukupni troškovi, poboljšala konkurentnost i ostvarilo održivo poslovanje kroz nulta rasipanja resursa, minimiziranje otpada te uklanjanje nepotrebnih aktivnosti potrebno je primijeniti alate *Green* proizvodnje [46].

➤ *Analiza granica green sustava*

Slično kao i kod *lean* analize toka vrijednosti, ovdje se određuje početno (trenutno) stanje nekog poduzeća kako bi se vidjelo koliko je ono *green*. Pri tome se prate sve vrijednosti ključnih *green* pokazatelja na ulazu i izlazu iz promatranog poduzeća. Prikazuje se *green* sustav kao jedan linearni model kojeg čine proizvođači sirovina i energije, prerađivač (promatrano poduzeće) i kupac proizvoda ili usluge (Slika 4.12.). Analizira se trenutno stanje sa *green* gledišta, pronalaze se moguća mjesta i predlažu mjere za poboljšanje procesa kod prerađivača koje će rezultirati smanjenjem *green* gubitaka i povećanjem učinkovitosti procesa.



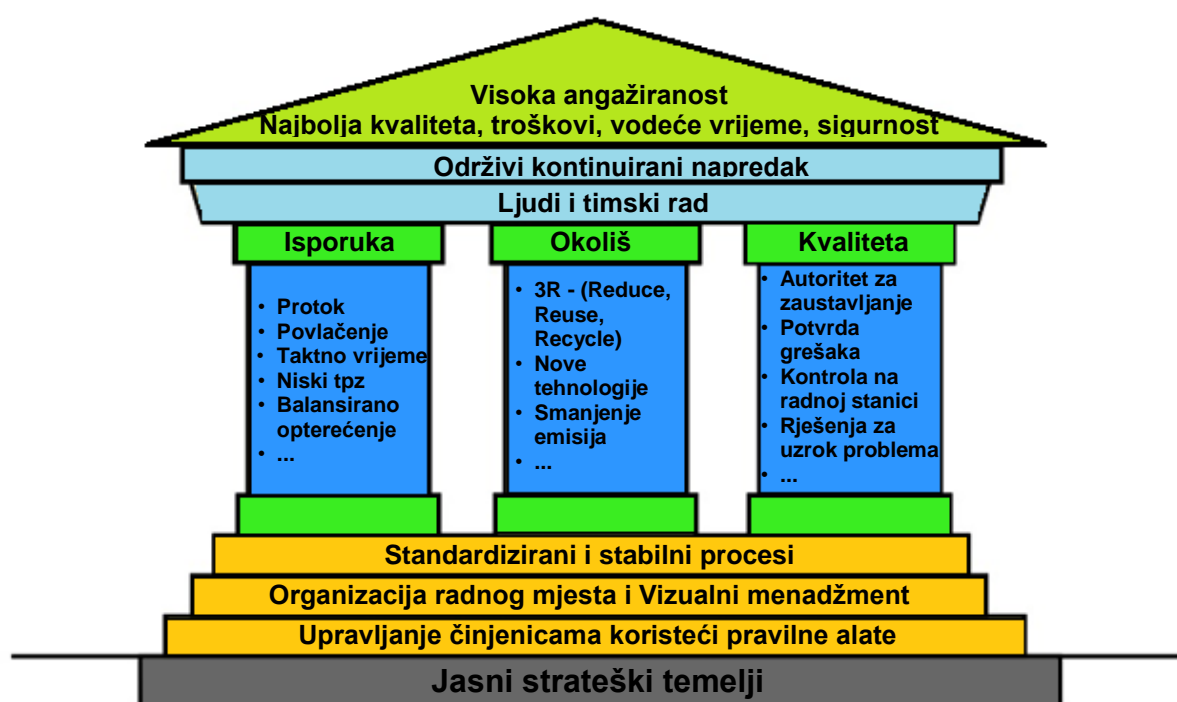
Slika 4.12. Analiza granica *green* sustava [46]

➤ *Mapiranje procesa uz dodatak održive komponente*

Pri mapiranju procesa i izradi *VSM* mape u tablicama pojedinih procesa dodaje se i održiva komponenta u kojoj se prikazuju vrijednosti ključnih *green* pokazatelja za trenutno (početno) i buduće stanje.

➤ Model izvrsnosti *Lean* i *Green* proizvodnje

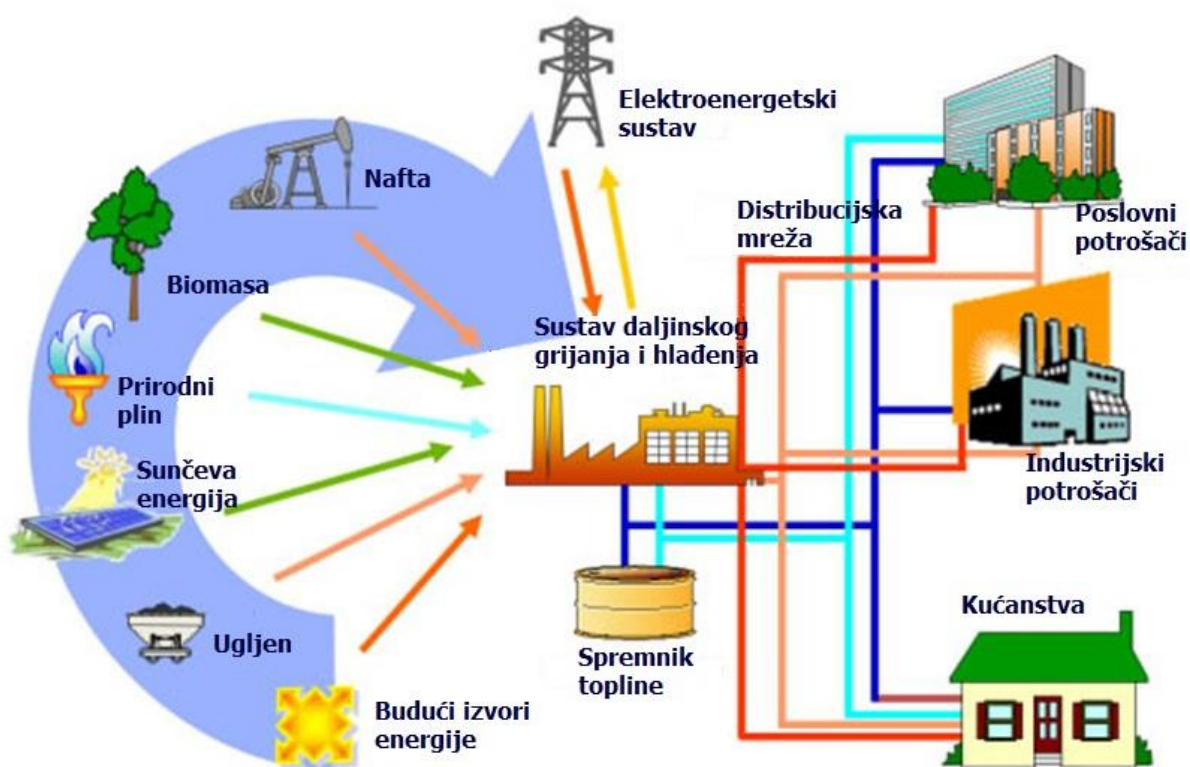
Najbolje rezultate poduzeća postižu kada istovremeno uvode *Lean* i *Green*. Mnogo je sličnosti i dodirnih točaka (kao što je prikazano u točki 2.2.), tako da se učinkovitijim pokazao cjeloviti model istovremenog uvođenja *Lean-a* i *Green-a*, prikazan na Slici 4.13., u odnosu na pojedinačnu primjenu. Primjena odgovarajućih *lean* alata i tehnika doprinosi primarno poboljšanju proizvodnih pokazatelja, no pored toga to može imati i značajan utjecaj na smanjenje pojedinih *green* gubitaka. Isto vrijedi i u suprotnom slučaju, kada se primarno žele poboljšati određeni *green* pokazatelji, može se pokazati da je za to nužno proces preoblikovati na način koji će rezultirati smanjenjem ili uklanjanjem pojedinih *lean* gubitaka.



Slika 4.13. Model izvrsnosti *Lean* i *Green* proizvodnje [46]

5. *LEAN I GREEN* PRISTUP U DISTRIBUCIJI TOPLINSKE ENERGIJE

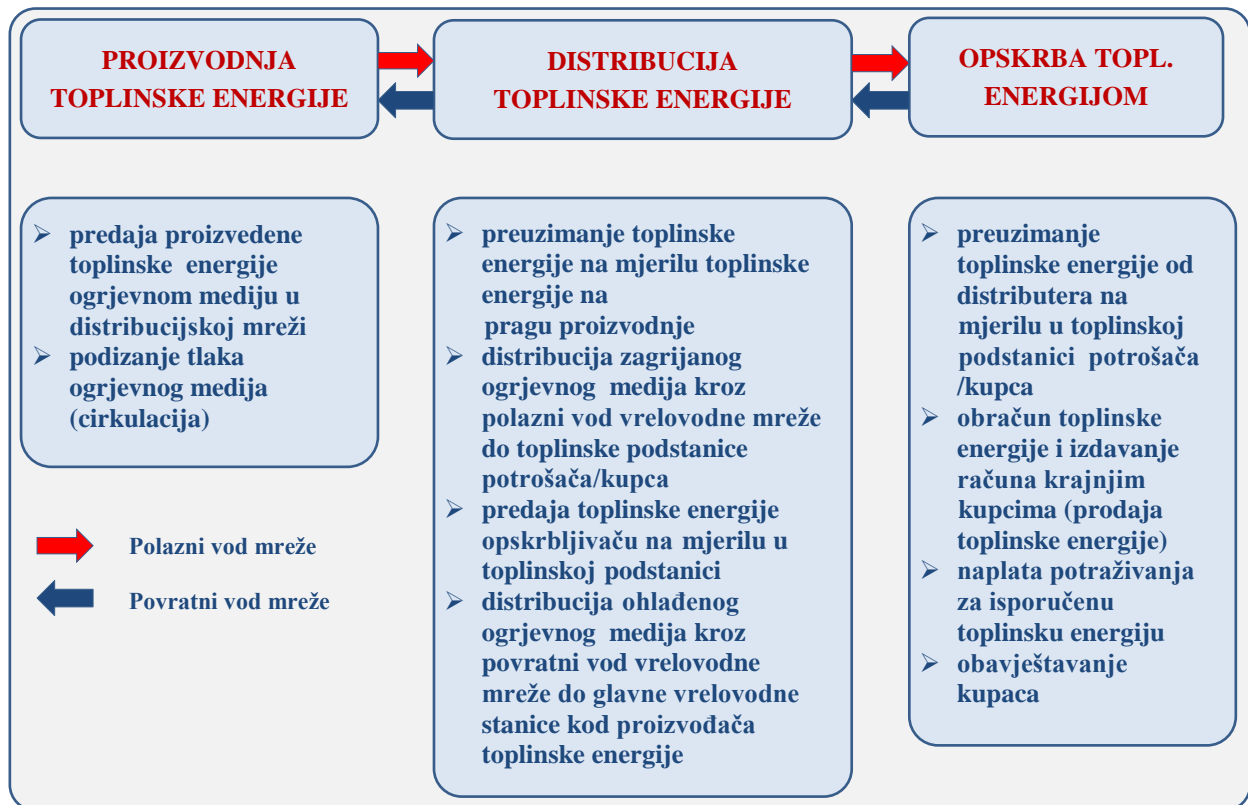
Sustav daljinskog grijanja sastoji se od izvora za proizvodnju toplinske energije, glavnih toplinskih stanica, distribucijske mreže te toplinskih podstanica u kojima se toplinska energija predaje potrošačima (Slika 5.1.). Svi dijelovi sustava su međusobno povezani i dimenzionirani su tako da mogu zadovoljiti potrebe toplinskog konzuma za grijanjem i pripremom potrošne tople vode.



Slika 5.1. Sustav daljinskog grijanja [61]

5.1. Osnovne toplinske djelatnosti

Osnovne toplinske djelatnosti, proizvodnja, distribucija i opskrba toplinskom energijom, prikazane su na Slici 5.2.

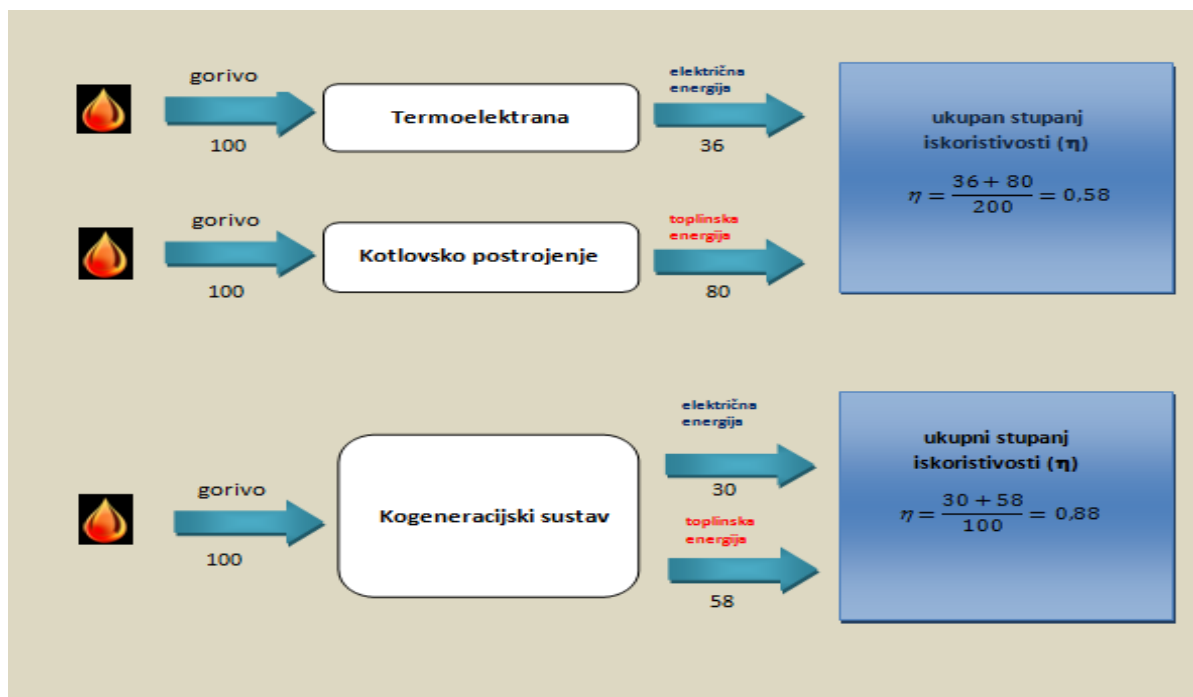


Slika 5.2. Osnovne toplinske djelatnosti

Proizvodnja toplinske energije

Najčešće se toplinska energija proizvodi izgaranjem različitih vrsta goriva (fosilna goriva, šumska biomasa, komunalni otpad) u kogeneracijskim ili čisto toplinskim proizvodnim postrojenjima. Kod kogeneracijskih postrojenja treba poticati visokoučinkovitu proizvodnju električne i toplinske energije te razvijati niskotemperaturne sustave grijanja kako bi para na izlasku iz turbine mogla kondenzirati na nižim temperaturama i tako proizvoditi više električne energije.

Na Slici 5.3. prikazane su razlike u ukupnoj učinkovitosti odvojene proizvodnje električne i toplinske energije te zajedničke proizvodnje u kogeneracijskom procesu [62].



Slika 5.3. Ukupni stupanj iskorištenja kod odvojene i zajedničke proizvodnje električne i toplinske energije [62]

Ukupna učinkovitost u kogeneracijskim postrojenjima iznosi 70% do 85%, (27% do 45% odnosi se na električnu energiju, a 40% do 50% na toplinsku energiju), u modernijima kogeneracijama i do 90%, dok je u klasičnim termoelektranama učinkovitost u proizvodnji električne energije 30% do 55%. Prema [38] visokoučinkovite kogeneracijske jedinice su one koje zadovoljavaju kriterij uštede primarne energije preko 10% u odnosu na ekvivalentnu proizvodnju u odvojenim referentnim postrojenjima.

Cilj je što više toplinske energije proizvoditi iz obnovljivih izvora te iskoristiti otpadnu toplinu kako bi se smanjila potrošnja fosilnih goriva i emisija stakleničkih plinova. U proizvodnji toplinske energije mogu se koristiti geotermalni i solarni izvori, različiti niskotemperaturni izvori (otpadne vode, rijeke, jezera) i dizalice topline, zatim električni kotlovi koji koriste jeftinu električnu energiju u noćnom režimu rada (npr. iz vjetroelektrana) za proizvodnju toplinske energije koja se pohranjuje u spremnike topline i koristi za pokrivanje jutarnjih i vršnih potreba konzuma za toplinskom energijom.

Uz proizvodna postrojenja se obično nalazi i glavna toplinska stanica u kojoj se postižu odgovarajuće vrijednosti parametara ogrjevnog medija (protok, tlak i temperatura) kako bi se proizvedena toplinska energija mogla predati u distribucijsku toplinsku mrežu. U

toplinskoj stanici su smještene glavne cirkulacijske crpke, izmjenjivači topline, mjerila toplinske energije te sustavi za nadopunu i održavanje tlaka u mreži.

Distribucija toplinske energije

Distributer preuzima proizvedenu toplinsku energiju na mjerilu toplinske energije na pragu proizvodnje i distribuira zagrijani ogrjevnj medij kroz polazni vod toplinske mreže do toplinskih podstanica stambenih i poslovnih zgrada koje su priključene na toplinski sustav. Nakon predaje toplinske energije potrošačima ohlađeni ogrjevnj medij se kroz povratni vod toplinske mreže vraća do toplinske stanice proizvođača gdje se ponovno zagrijava i podiže tlak, čime se osigurava neprekinuta cirkulacija te odvijanje procesa distribucije i opskrbe toplinskom energijom. Svaku mrežu karakterizira odgovarajući temperaturni i hidraulički režim rada kako bi se osigurali potrebni parametri ogrjevnog medija na svakom mjestu u mreži i potrošačima isporučila potrebna količina energije.

Ako su izvori za proizvodnju toplinske energije dosta udaljeni od toplinskog konzuma tada se koristi i pojam transporta (prijenosa) toplinske energije kroz spojni (transportni) cjevovod od praga proizvodnje do početka distribucijske mreže. Kod većih toplinskih mreža obično su na pojedinim mjestima u mreži smještene i tzv. booster crpne stanice u polaznom ili povratnom vodu koje podižu tlak kako bi se omogućila cirkulacija ogrjevnog medija.

Opskrba toplinskom energijom

U toplinskim podstanicama, koje mogu biti direktnog i indirektnog tipa, se parametri ogrjevnog medija iz distribucijske mreže prilagođavaju vrijednostima za koje su projektirane unutarnje instalacije grijanja u zgradama. Na mjerilu u podstanici distributer predaje toplinsku energiju opskrbljivaču, koji je isporučuje krajnjim kupcima, obračunava i izdaje račune za toplinsku energiju. Obzirom da se kroz opskrbu ostvaruju neposredni kontakti s krajnjim kupcima to ovoj djelatnosti daje na značaju i stoga ju je nužno organizirati na način da se izgrade kvalitetni odnosi s potrošačima, da se u potpunosti prepozna i razumije što oni žele i što im je najvažnije, kako bi se mogla odrediti vrijednost usluge opskrbe toplinskom energijom iz njihove perspektive. Kvaliteta isporučene toplinske energije, stalnost opskrbe (bez čestih prekida), dobar marketinški pristup, stručno osoblje, organizirana dežurna služba, uredno obavješćavanje, razumljivost obračuna te mogućnost kontrole i plaćanje prema stvarnoj potrošnji su bitni elementi koji doprinose boljoj prihvaćenosti usluge daljinskog grijanja kod kupaca i osjećaja da sustav o njima vodi brigu. Stoga opskrbljivač treba imati

jasnu i prepoznatljivu strategiju odnosa s kupcima, u kojoj će posebna pozornost biti posvećena upravljanju ljudskim potencijalima, kako bi se odabrali odgovarajući kadrovi te provodilo njihovo kontinuirano usavršavanje i stručno osposobljavanje za rad s kupcima.

5.2. Procesi u distribuciji toplinske energije

Djelatnost distribucije toplinske energije, uz osnovni energetske (tehnoški) proces, obuhvaća i pomoćne procese koji su direktno vezani uz osnovni proces (Slika 5.4):

- eksploataciju,
- održavanje,
- razvoj i izgradnju
- ekonomske
- pravne poslove i
- ostale poslove (zaštita na radu, zaštita od požara, informatička podrška i dr.).



Slika 5.4. Pomoćni procesi u distribuciji toplinske energije

Eksploatacija

Eksploatacija obuhvaća sljedeće aktivnosti:

- upravljanje i vođenje distribucijskog dijela toplinskog sustava

- kontrola parametara ogrjevnog medija,
- kontrola toplinske mreže i podstanica,
- izlazak na prigovore (reklamacije) potrošača,
- provjera parametara u toplinskim podstanicama i otklanjanje nedostataka,
- očitavanje obračunskih mjerila toplinske energije na pragu proizvodnje i potrošnje te
- sudjelovanje u poslovima održavanja pri pronalaženju lokacije puknuća cjevovoda, (zatvaranje dionica mreže, pražnjenje i ponovno punjenje mreže nakon otklanjanja kvara, aktivnosti vezane za početak i završetak ogrjeвне sezone i dr.).

Održavanje

Poslovi održavanja podijeljeni su u:

- preventivno održavanje,
- remonte i
- korektivno održavanje.

Redoviti remont i preventivno održavanje opreme (Slika 5.5.) i cjevovoda su preduvjet da za vrijeme svog predviđenog vijeka trajanja uredno funkcioniraju, kako bi imali što manje gubitaka u distribucijskoj mreži i prekida u opskrbi kupaca toplinskom energijom.



Slika 5.5. Remont booster crpke

Kroz korektivno održavanje odraduju se manje zamjene opreme i cjevovoda, a glavnina se odnosi na izvođenje hitnih intervencija zbog puknuća i propuštanja cjevovoda (detaljni opis hitnih intervencija prikazan je u točki 7.9.).

Razvoj i izgradnja

Razvoj i izgradnja distribucijskog toplinskog sustava obuhvaća sljedeće poslove:

- priprema objekata/dionica postojeće toplinske mreže za revitalizaciju (zamjenu i rekonstrukciju)
- priprema novih razvojnih projekata
- izrada plana investicija
- realizacija planiranih aktivnosti na revitalizaciji postojećih i izgradnji novih objekata
- priključenje novih potrošača na toplinski sustav (Slika 5.6.).



Slika 5.6. Priključenje podnog grijanja Trga A. Starčevića u Osijeku na vrelovodni sustav

Ekonomski i pravni poslovi

Ekonomski dio se odnose na sljedeće poslove:

- financijsko poslovanje,
- računovodstvo i knjigovodstvo,
- praćenje realizacije gospodarskog plana i plana investicija (kontroling),
- nabava i skladišno poslovanje te
- obračun, prodaja i naplata toplinske energije.

Pravni dio obuhvaća:

- pravne i opće poslove te
- upravljanje ljudskim potencijalima.

5.3. *Lean* načela u distribuciji toplinske energije

Promatrajući osnovni energetske proces distribucije toplinske energije u sustavima daljinskog grijanja određeno je značenje osnovnih *lean* načela u ovom procesu [63]:

Vrijednost iz perspektive kupca

- optimalna količina toplinske energije u svakom trenutku uz najniže troškove (minimalna količina toplinske energije potrebna za postizanje projektnih temperatura u prostorima priključenim na toplinski sustav, nema pregrijavanja)
- sigurna i kontinuirana opskrba toplinskom energijom uz prihvatljivu cijenu
- obračun na temelju stvarne potrošnje
- što manji utjecaj na okoliš.

Tok vrijednosti

- distributer nabavlja/preuzima toplinsku energiju od proizvođača
- distribucija ogrjevnog medija kroz polazni vod toplinske mreže od proizvođača do toplinskih podstanica kupaca (gubitak dijela toplinske energije)
- opskrba kupaca toplinskom energijom (predaja/iskoruka toplinske energije kupcima)
- distribucija ogrjevnog medija kroz povratni vod toplinske mreže od toplinskih podstanica kupaca do proizvođača (gubitak dijela toplinske energije)
- podizanje tlaka ogrjevnog medija kako bi se omogućila cirkulacija i distribucija
- zagrijavanje ogrjevnog medija u toplinskim izvorima proizvođača (proizvodnja toplinske energije).

Protočnost

- glavne cirkulacijske crpke omogućuju neprekinuto strujanje (cirkulaciju) ogrjevnog medija od proizvođača toplinske energije kroz polazni vod distribucijske mreže do toplinskih podstanica kupaca, gdje se toplinska energija predaje kupcima i kroz povratni vod distribucijske mreže vraća do proizvođača

- smanjivanjem i uklanjanjem prepoznatih *lean* i *green* gubitaka u distribuciji toplinske energije poboljšat će se i osigurati protočnost ovog procesa.

Povlačenje

- proizvodi se i distribuira minimalna količina toplinske energije koja je potrebna za pokrivanje gubitaka u distribuciji i opskrbu kupaca toplinskom energijom koja im je u tom trenutku potrebna za zagrijavanje njihovih prostora i pripremu potrošne tople vode.

Izvrsnost

- kontinuirani nadzor i kontrola parametara ogrjevnog medija (temperatura, tlak i protok) na pragu proizvodnje, na karakterističnim kontrolnim oknima (šahovima) u vrelovodnoj mreži te u toplinskim podstanicama kupaca
- kontrola preuzete količine toplinske energije i angažirane toplinske snage na pragu proizvodnje
- kontrola kvalitete kemijskog sastava ogrjevnog medija
- kontinuirano poboljšanje procesa.

Iz ovog opisa značenja osnovnih *lean* načela u distribuciji toplinske energije može se vidjeti da su gotovo sve ove značajke karakteristične i za energetske učinkovitost ovog procesa. To pokazuje povezanost ova dva pojma, što je karakteristično kada se radi o primjeni *Lean-a* u energetske procesima.

5.4. *Lean* i *green* gubici u distribuciji toplinske energije

Za sve *lean* i *green* gubitke opisane u točkama 3.2. i 3.5. određeno je značenje u energetskom procesu distribucije toplinske energije [63]:

Prekomjerna proizvodnja

- proizvodi se više toplinske energije nego što je potrebno ogrjevnom konzumu tako da dolazi do pregrijavanja prostora, previsoke temperature ogrjevnog medija u povratnom vodu toplinske mreže i povećanih toplinskih gubitaka (osobito izraženo u prijelaznim jesenskim i proljetnim razdobljima kada su nagle promjene vanjske temperature zraka)

Zalihe

- predimenzioniranost cjevovoda i opreme (dimenzija podstanice značajno veća od potreba ogrjevnog konzuma ima za posljedicu da većina regulacijske i mjerne opreme rade u nepovoljnom području rada; veća dimenzija cjevovoda znači da su veći i toplinski gubici kroz stjenku cijevi i toplinsku izolaciju)
- prekomjerno proizvedena toplinska energija se nepotrebno "skladišti" i gubi u mreži

Transport

- previsoki tlakovi u mreži (tlak ogrjevnog medija u polazu viši od potrebnog se prigušuje na ulazu u direktnu toplinsku podstanicu što predstavlja nepotrebn gubitak i veću potrošnju električne energije za pogon glavnih cirkulacijskih crpki).
- predimenzionirane crpke koje nemaju mogućnost regulacije broja okretaja (regulacija tlaka prigušivanjem armature na tlačnoj strani crpki)
- poddimenzioniranost cjevovoda i opreme - "uska grla" povećavaju troškove distribucije/transporta ogrjevnog medija kroz cjevovod

Čekanje

- predugo vrijeme dolaska ogrjevnog medija od praga proizvodnje do najudaljenijih kupaca (transportno kašnjenje)
- problem u jutarnjim satima ako se kasno krene s proizvodnjom
- problem kod naglih promjena vanjskih temperatura zraka i brzina vjetera
- problem kod dužih ispada iz rada glavnih cirkulacijskih crpki ili prekida u opskrbi toplinskom energijom zbog puknuća magistralnih cjevovoda

Nepotrebna kretanja

- propuštanja kod zapornih armatura koje bi trebale biti zatvorene kada je vrelovodni sustav u radu (armature u obilaznom vodu u glavnoj vrelovodnoj stanici gdje su glavne cirkulacijske crpke, u distribucijskoj mreži i u toplinskim podstanicama)
- neodgovarajuće trase cjevovoda (neprilagođene rasporedu objekata, dosta lokalnih gubitaka)

Škart

- ispad iz rada toplinskog sustava zbog kvara na proizvodnim postrojenjima, nestanka električne energije ili puknuća cjevovoda

- nadopuna ogrjevnog medija zbog propuštanja i curenja cjevovoda

Prekomjerna obrada

- kvaliteta ogrjevnog medija iznad propisanih vrijednosti (kemijska kvaliteta i sl.)

Nedovoljno korištenje potencijala zaposlenika

- neodgovarajuća organizacija i sistematizacija radnih mjesta
- previše rukovodećih kadrova s nejasnim ulogama i odgovornostima
- nedostatak opis poslova za radna mjesta
- nedostatak pravilnika o ocjenjivanju radnika
- nemogućnost pravičnog nagrađivanja radnika
- teško je dodatno motivirati dobre radnike ("neradnike ne možeš toliko malo platiti koliko oni mogu malo raditi")

Energija

- proizvodi se i distribuira kupcima više toplinske energije nego što je potrebno
- neučinkovita proizvodna postrojenja pa se troši više goriva za proizvodnju toplinske energije
- povećani toplinski gubici zbog loše toplinske izolacije cjevovoda toplinske mreže zahtijevaju proizvodnju većih količina toplinske energije da bi kupcima moglo biti isporučeno dovoljno energije
- ne korištenje obnovljivih izvora

Voda

- zbog propuštanja i curenja cjevovoda toplinske mreže potrebne su veće količine vode/ogrjevnog medija za nadopunu toplinskog sustava kako bi se mogao održavati tlak u sustavu na usisu glavnih cirkulacijskih crpki
- to su dodatni troškovi za sirovu vodu, kemijsku pripremu vode i zagrijavanje vode za nadopunu toplinske mreže

Materijali

- u kemijskoj pripremi vode koriste se sredstva koja nisu prihvatljiva za okoliš
- toplinske izolacije, maziva i ostali materijali koji nisu ekološki prihvatljivi

Otpad

- sav otpad koji nastane pri obavljanju djelatnosti distribucije toplinske energije (izvođenje radova na zamjenama, rekonstrukcijama i održavanju vrel vodne mreže) treba uskladištiti i zbrinuti u skladu s propisanim pravilima o zbrinjavanju posebnih vrsta otpada i o tome voditi potrebnu dokumentaciju (očevidnici, listove o zbrinjavanju, izvješća)

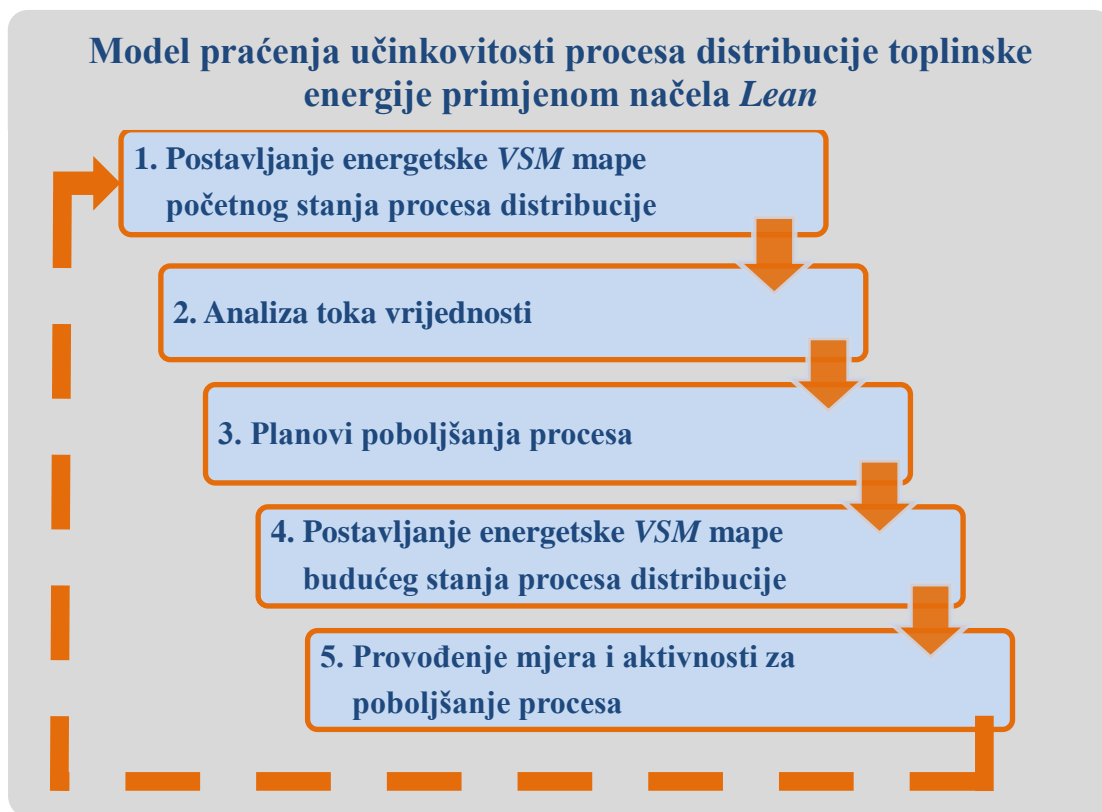
Emisije

- korištenje goriva s velikim udjelom sumpora u proizvodnji toplinske energije (teška loživa ulja)
- neučinkovita proizvodna postrojenja
- veliki toplinski i maseni gubici u distribuciji.

Iz prikaza *lean* gubitaka u osnovnom procesu distribucije toplinske energije proizlazi da se gotovo svi *lean* gubici svode na gubitak energije, što je jedan od glavnih *green* gubitaka, tako da će smanjenje i uklanjanje *lean* gubitaka doprinijeti povećanju energetske učinkovitosti. Stoga će u promatranim toplinskim gubicima u procesu distribucije toplinske energije biti sadržani svi *lean* gubici (osim nedovoljnog korištenja potencijala zaposlenika), odnosno energija kao *green* gubitak, što pokazuje i potvrđuje opisanu povezanost *Lean-a* i *Green-a*.

6. OBLIKOVANJE MODELA ZA PRAĆENJE UČINKOVITOSTI PROCESA DISTRIBUCIJE TOPLINSKE ENERGIJE

Od procesa u distribuciji toplinske energije u sustavima daljinskog grijanja, navedenih u točki 5.2., razmatrat će se osnovni energetska (tehnoški) proces distribucije, za koji će se oblikovati model praćenja učinkovitosti procesa primjenom *lean* načela *LEGREM-DHE*, čiji osnovni koraci su prikazani na Slici 6.1. Uključen će biti i dio pomoćnih procesa eksploatacije, korektivnog održavanja (hitne intervencije) te izgradnje (zamjena postojeće mreže) koji su povezani i značajnije utječu na energetska proces distribucije, dok se ostali pomoćni procesi neće promatrati u oblikovanju ovog modela.



Slika 6.1. Model *LEGREM-DHE*

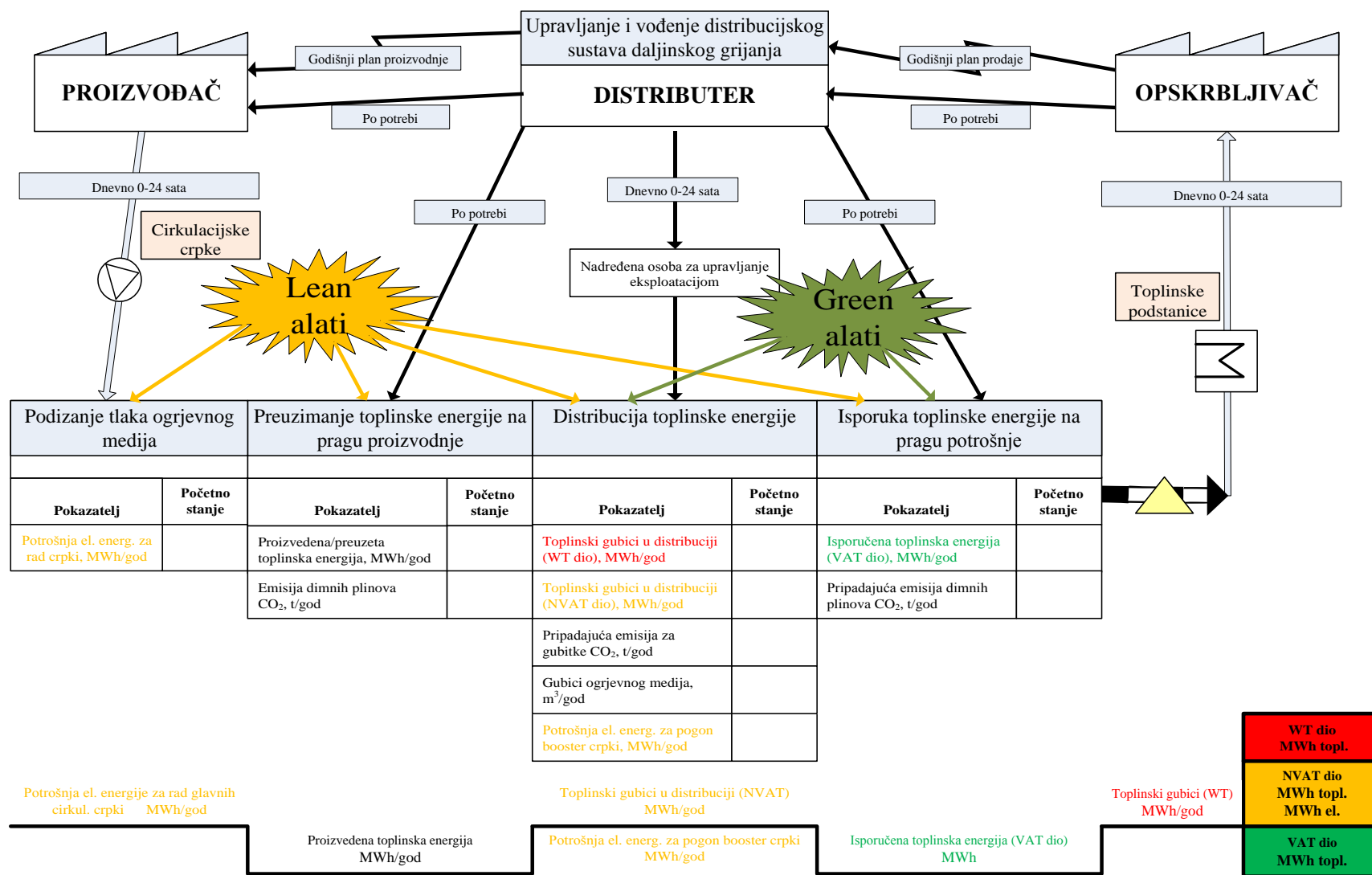
6.1. Postavljanje energetske VSM mape početnog stanja procesa distribucije

Prvi korak u oblikovanju modela *LEGREM-DHE* je postavljanje energetske VSM mape početnog stanja procesa distribucije toplinske energije, u kojoj se prikazuje tok vrijednosti energetske učinkovitosti u ovom procesu. Pri postavljanju mape početnog stanja potrebno je opisati probleme koji se pojavljuju u procesu distribucije i utvrditi početno stanje osnovnih pokazatelja procesa.

Razvoj energetske VSM mape za proces distribucije toplinske energije, prikazane na Slici 6.2., opisan je u [64]. Pri crtanju energetske mape koriste se simboli kao i kod standardne mape, a za pojedine dijelove karakteristične za proces distribucije (podizanje tlaka ogrjevnog medija i isporuka toplinske energije na pragu potrošnje) uvode se nove oznake (crpke i toplinske podstanice). Dobavljač toplinske energije je proizvođač, a naručitelj je opskrbljivač koji preuzetu toplinsku energiju isporučuje krajnjem kupcu. Proizvedena toplinska energija se pomoću glavnih cirkulacijskih crpki predaje u distribucijsku mrežu, distributer preuzima toplinsku energiju na pragu proizvodnje, transportira i distribuira je kroz toplinsku mrežu te isporučuje opskrbljivaču na pragu potrošnje u toplinskoj podstanici. Procesi preuzimanja, distribucije i isporuke toplinske energije odvijaju se kontinuirano.

Na temelju procijenjenih godišnjih potreba konzuma za toplinskom energijom opskrbljivači izrađuju plan prodaje i dostavljaju ga distributeru koji objedinjuje podatke, dodaje predvidive količine toplinske energije potrebne za pokrivanje toplinskih gubitaka u distribuciji te izrađuje godišnji plan proizvodnje i dostavlja ga proizvođaču toplinske energije. Komunikacija između proizvođača, distributera i opskrbljivača odvija se po potrebi u skladu s njihovim međusobnim ugovorima. Očitavanja preuzete toplinske energije na pragu proizvodnje i isporučene toplinske energije na pragu potrošnje odvijaju se u obračunskim razdobljima koja su propisana važećom regulativom (najčešće jednom mjesečno). Organizacijska jedinica koja je zadužena za eksploataciju toplinske mreže vodi brigu o upravljanju i vođenju distribucijskog sustava daljinskog grijanja.

Pri mapiranju procesa i izradi energetske VSM mape u tablicama procesa se, uz početna stanja najznačajnijih pokazatelja energetske učinkovitosti procesa, dodaje i održiva



Slika 6.2. Energetska VSM mapa početnog stanja procesa distribucije toplinske energije

komponenta s vrijednostima pojedinih *green* pokazatelja. Prikazuju se podaci o:

- proizvedenoj/preuzetoj toplinskoj energiji
- isporučenoj toplinskoj energiji (*VAT* dio)
- toplinskim gubicima (*NVAT* i *WT* dio)
- potrošnji električne energije za pogon cirkulacijskih crpki
- gubicima ogrjevnog medija i
- pripadajućoj emisiji CO₂ koja nastaje pri proizvodnji dijela toplinske energije koji služi za pokrivanje distribucijskih gubitaka.

Na vremenskoj liniji se, umjesto osnovnih vremenskih značajki procesa kod standardne *VSM* mape proizvodnog procesa, prikazuju podaci o isporučenoj toplinskoj energiji, toplinskim gubicima i potrošnji električne energije za pogon glavnih cirkulacijskih crpki.

Prikazano početno stanje odgovara situaciji kada se proizvodi i distribuira više toplinske energije nego što je toplinskom konzumu potrebno, tako da se višak toplinske energije gura ("*push*") prema opskrbljivaču, što dovodi do pregrijavanja prostora krajnjih kupaca i povišenja temperature ogrjevnog medija u povratnom vodu toplinske mreže.

Nakon sagledavanja toka vrijednosti u procesu distribucije i mogućnosti za poboljšanje procesa u mapu se ucrtavaju *lean* alati pomoću kojih se to želi ostvariti.

6.2. Analiza toka vrijednosti u procesu distribucije

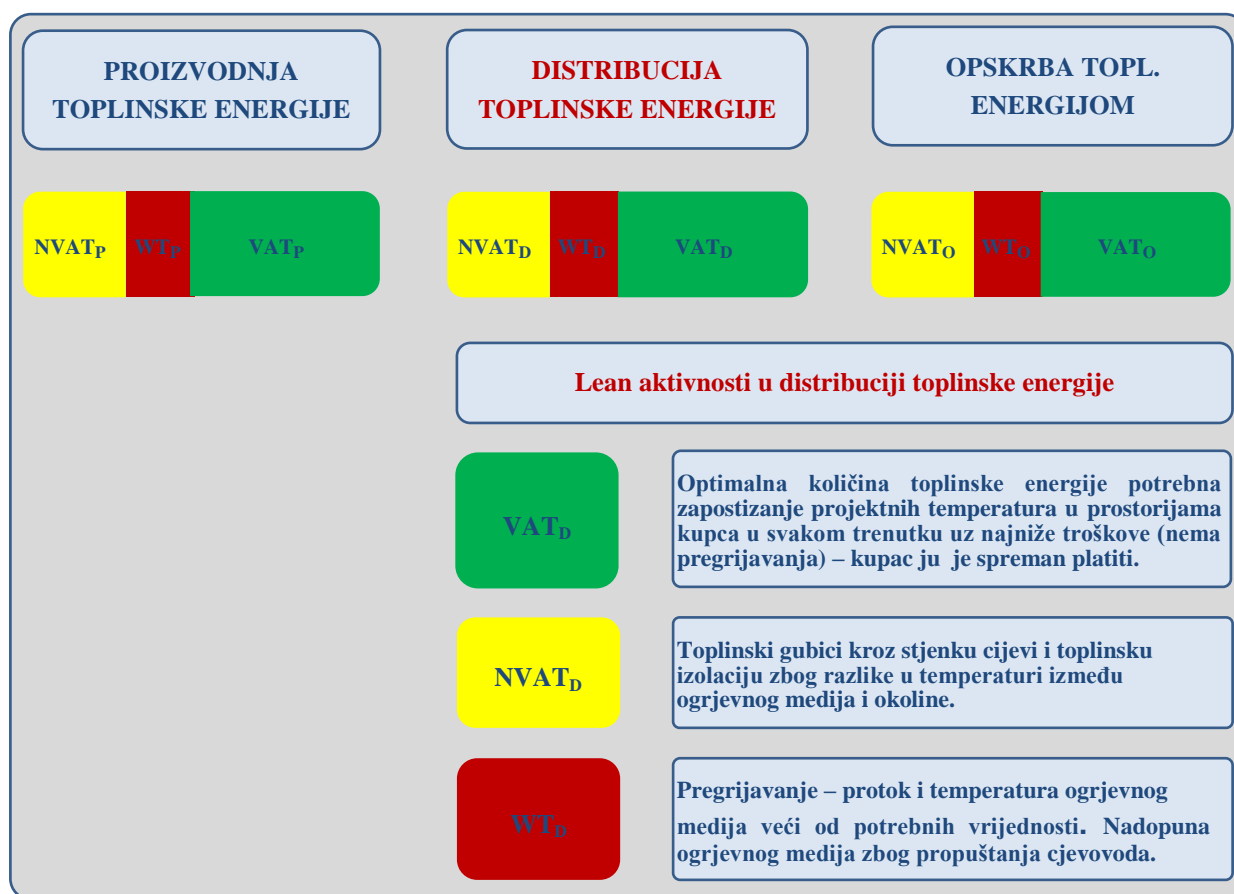
Analizira se tok vrijednosti energetske učinkovitosti procesa distribucije toplinske energije, koji se promatra kao *lean* proces (Slika 6.3.) sastavljen od:

- aktivnosti koje dodaju vrijednost (*VAT* aktivnosti),
- aktivnosti koje ne dodaju vrijednost, ali su nužne za obavljanje procesa i predstavljaju neophodni gubitak (*NVAT* aktivnosti) te
- aktivnosti koje ne dodaju vrijednost i predstavljaju čisti gubitak (*WT* aktivnosti).

6.2.1. Prikaz procesa distribucije kao *lean* procesa

Preuzeta toplinska energija na pragu proizvodnje, što je ujedno i početna točka distribucije, sadrži sva tri navedena dijela (*VAT*, *NVAT* i *WT* dio). Dio toplinske energije koji

se isporučuje opskrbljivačima na mjernim mjestima u toplinskim podstanicama predstavlja optimalnu količinu (VAT dio) toplinske energije koja je potrebna za zagrijavanje prostora i pripremu potrošne tople vode kod krajnjih kupaca (nema pregrijavanja, najniži troškovi toplinske energije i kupci su ju spremni platiti). Dio toplinske energije koji se koristi za pokrivanje toplinskih gubitaka u distribuciji koji nastaju prolazom topline s ogrjevnog medija kroz stjenku cijevi i toplinsku izolaciju prema okolini (zbog razlike temperature ogrjevnog medija i temperature okoline), predstavlja $NVAT$ dio toplinske energije.



Slika 6.3. Prikaz procesa distribucije toplinske energije kao *lean* procesa

Dio toplinske energije koji pokriva gubitke zbog pregrijavanja i propuštanja ogrjevnog medija predstavlja WT dio toplinske energije tj. čisti gubitak. Aktivnosti koje ne dodaju vrijednost, ali su neophodne za obavljanje djelatnosti i aktivnosti koje predstavljaju čisti gubitak ($NVAT$ i WT dio) bit će sadržane u ukupnim distribucijskim toplinskim gubicima, koji se izračunavaju kao razlika preuzete toplinske energije od proizvođača i isporučene toplinske energije opskrbljivačima. Iz prikazanog na Slici 6.3. vidi se da se i procesi proizvodnje te opskrbe toplinskom energijom mogu na sličan način promatrati kao *lean* procesi.

6.2.2. Analiza *lean* i *green* gubitaka u procesu distribucije

U točki 5.4. prikazani su *lean* i *green* gubici te opisano njihovo značenje u procesu distribucije toplinske energije. Od svih navedenih gubitaka, u ovom koraku primjene oblikovanog modela odredit će se koji *lean* i *green* gubici će biti predmet detaljne analize, kako bi se odredio njihov udio u procesu distribucije toplinske energije te odabrali odgovarajući *lean* alati i tehnike, čijom primjenom bi se kroz realizaciju odgovarajućih aktivnosti smanjili i uklonili promatrani gubici i tako poboljšala učinkovitost procesa. Analiza promatranih gubitaka treba dati koliko god je moguće točnije pokazatelje o gubicima u procesu prije početka primjene odabranih aktivnosti kako bi se mogao pratiti njihov učinak na proces i usporediti ostvarene vrijednosti pokazatelja praćenja učinkovitosti s ciljanim vrijednostima. Početnu analizu treba napraviti za one gubitke za koje se pretpostavlja da najviše utječu na učinkovitost i da bi njihovo smanjivanje najviše pridonijelo poboljšanju procesa. Pri tome se pojedini gubici mogu promatrati zajedno jer primjena odgovarajućih aktivnosti vrlo često ne utječe samo na smanjenje samo jednog gubitka, nego na više njih tako da je vrlo teško odrediti koliki je udio smanjenja pojedinih gubitaka u ostvarenom poboljšanju procesa. To je u konačnici manje bitno, najvažnije je da provedene aktivnosti rezultiraju što značajnijim poboljšanjem procesa i povećanjem njegove učinkovitosti.

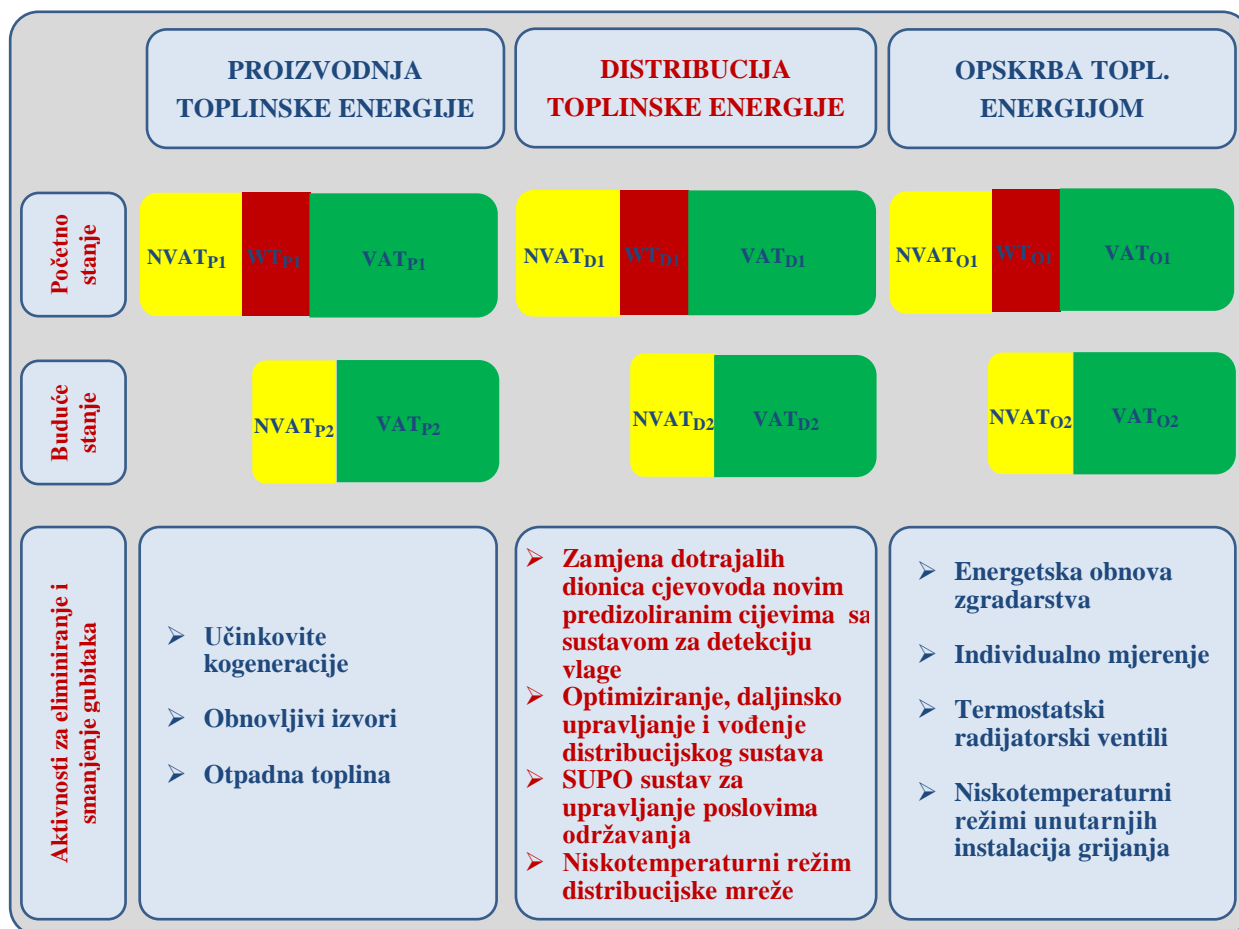
Obzirom na specifičnost distribucije toplinske energije, većina *lean* gubitaka u ovoj energetske djelatnosti, kao što je prikazano u točki 5.4., predstavlja zapravo gubitke energije, tako da se njihovo promatranje u većini slučajeva svodi na praćenje gubitka energije kao jednog od najznačajnijih *green* gubitaka. U procesu distribucije gubitak toplinske energije, gubitak ogrjevnog medija i emisija stakleničkih plinova bit će osnovni pokazatelji energetske učinkovitosti ovog procesa, koji će se promatrati na početku i tijekom primjene odgovarajućih alata i tehnika tj. provedbe odabranih aktivnosti za poboljšanje procesa distribucije.

6.3. Planovi poboljšanja procesa distribucije

Na temelju analize toka vrijednosti te prepoznatih *lean* i *green* gubitaka u procesu distribucije toplinske energije koji se žele ukloniti ili smanjiti, određuje se strategija poboljšanja procesa distribucije toplinske energije i donose planovi za smanjenje gubitaka, njihovo optimiziranje i povećanje učinkovitosti u djelatnosti distribucije toplinske energije

(tzv. **ERO** strategija – **E**liminirati čiste gubitke, **R**educirati neophodne gubitke i **O**ptimizirati aktivnosti koje dodaju vrijednost). Na strateškoj razini odabiru se *lean* alati i tehnike primjenjivi u procesu distribucije toplinske energije, prikazuju se sveobuhvatne mjere i aktivnosti za smanjenje i uklanjanje *lean* i *green* gubitaka te odgovarajuće aktivnosti za optimiziranje procesa. Za ostvarenje postavljenih ciljeva potrebno je donijeti provedbene kratkoročne i dugoročne planove, vodeći pri tome računa da se u prvoj fazi treba usredotočiti na najizraženije gubitke i odabrati one aktivnosti koje će najviše pridonijeti poboljšanju pokazatelja učinkovitosti distribucije toplinske energije, dok se u kasnijim fazama analiziraju svi ostali, i najmanji gubici, kako bi se njihovim smanjivanjem moglo postići kontinuirano poboljšanje procesa. Da bi se to moglo ispravno procijeniti potrebno je za najznačajnije aktivnosti izraditi studije izvodljivosti koje će pokazati njihovu opravdanost i isplativost.

Stoga će se u nastavku navesti najznačajnije mjere za smanjenje i uklanjanje gubitaka te optimiziranje procesa distribucije, prikazane na Slici 6.4., a kasnije će se kroz testiranje oblikovanog modela na sustavu daljinskog grijanja u gradu Osijeku primijeniti neke od njih.



Slika 6.4. Poboljšanje procesa distribucije toplinske energije

Eliminirati aktivnosti koje su čisti gubitak (WT):

- sanacija puknuća cjevovoda
- preventivno održavanje, remont i korektivno održavanje (sustav za upravljanje poslovanjem održavanja)
- zamjena dotrajalih dionica vrelododne mreže novim predizoliranim cijevima s ugrađenim sustavom za detekciju vlage.

Reducirati aktivnosti koje ne dodaju vrijednost (NVAT):

- zamjena pojedinih dionica vrelododne mreže na kojima se utvrdi veći pad temperature od očekivanog,
- zamjena oštećene i dotrajale toplinske izolacije te izolacija neizoliranog cjevovoda i opreme u oklima, toplinskim stanicama, podstanicama i dr.
- zamjena pojedinih dionica vrelododne mreže zbog poddimenzioniranosti cjevovoda ("uska grla")
- smanjenje lokalnih otpora u mreži ugradnjom odgovarajuće armature i opreme
- frekvencijska regulacija glavnih cirkulacijskih crpki
- redovno preventivno održavanje, remont i korektivno održavanje (sustav za upravljanje poslovanjem održavanja)
- sustav za upravljanje i vođenje centralnog vrelododnog sustava
- tehničko ekonomsko optimiziranje sustava daljinskog grijanja
- daljinsko očitavanje mjera toplinske energije, nadzor i upravljanje opremom u toplinskim podstanicama (termoregulacijski ventili i crpke)
- zamjena dotrajalih dionica vrelododne mreže novim predizoliranim cijevima s ugrađenim sustavom za detekciju vlage.

Optimizirati aktivnosti koje dodaju vrijednost (VAT):

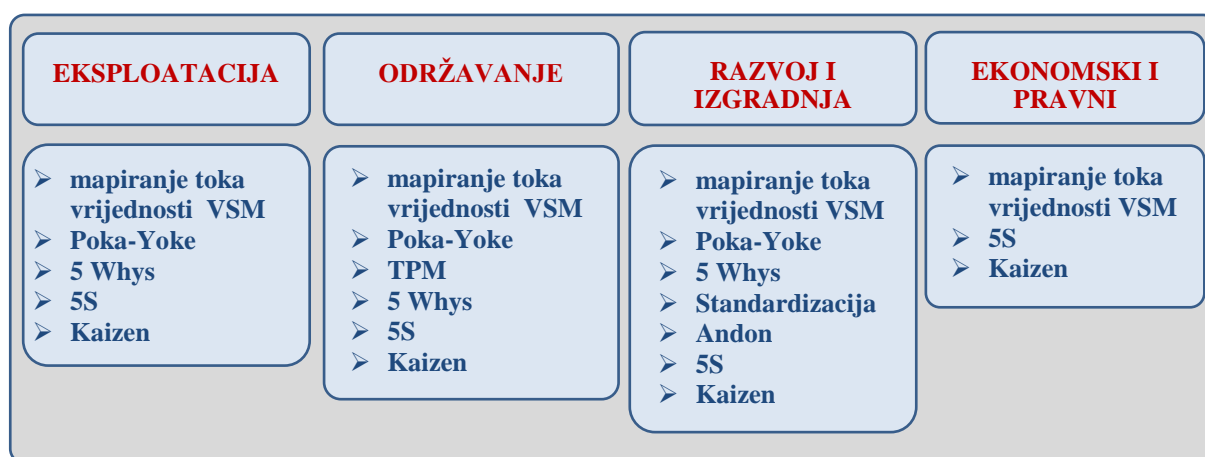
- kontrola kemijske kvalitete vode/ogrjevnog medija na pragu proizvodnje
- kontrola parametara ogrjevnog medija na pragu proizvodnje, na karakterističnim mjestima u mreži i toplinskim podstanicama
- tehničko ekonomsko optimiziranje sustava daljinskog grijanja.

Pojedine aktivnosti se nalaze i u NVAT i WT dijelu, jer kao što je spomenuto, njihova primjena vrlo često ne utječe na smanjenje samo jednog gubitka, nego na više njih. Ovdje su navedene samo mjere koje se odnose na distribuciju toplinske energije, njima se mogu dodati

i odgovarajuće aktivnosti u području proizvodnje i potrošnje toplinske energije (tj. na strani zgradarstva), koje također značajno mogu utjecati na proces distribucije:

- korištenje visokoučinkovitih kogeneracijskih postrojenja, obnovljivih izvora i otpadne topline u proizvodnji toplinske energije
- energetska obnova zgrada te
- ugradnja razdjelnika i termostatskih radijatorskih ventila u svim zgradama koje su priključene na toplinski sustav i imaju zajedničko mjerilo u toplinskoj podstanici.

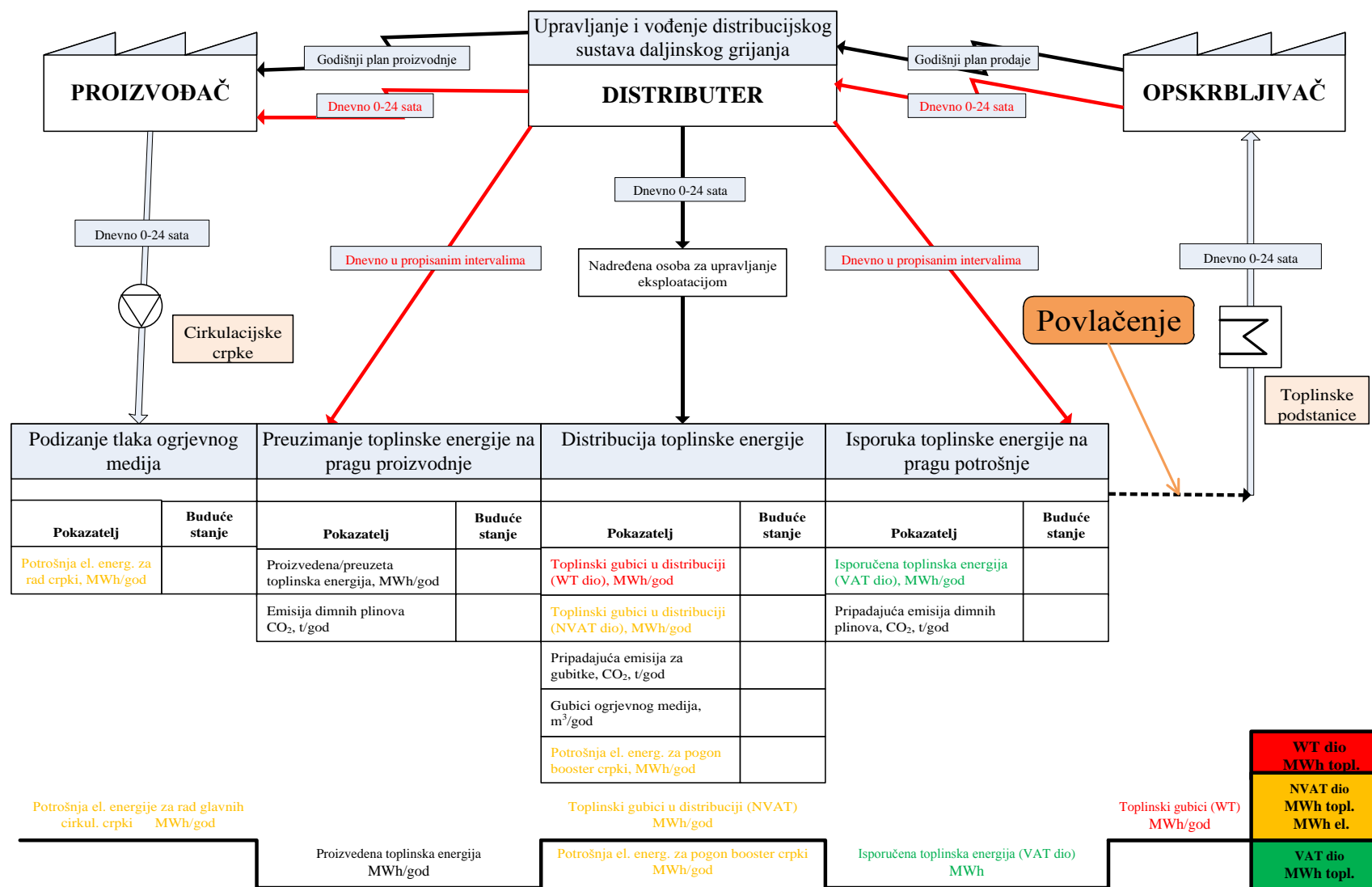
Uspoređujući osnovne značajke pojedinih *lean* alata i tehnika, opisanih u točki 4.4., s karakterom ovih aktivnosti za poboljšanje procesa i rezultatima koji se postižu njihovom provedbom, prepoznata je njihova povezanost, koja je navedena u poglavlju 7. u točkama u kojima se opisuje primjena odabranih aktivnosti na sustavu daljinskog grijanja u Osijeku. Stoga provođenje ovih aktivnosti zapravo predstavlja primjenu odgovarajućih *lean* alata i tehnika u procesima distribucije s ciljem njihova poboljšanja (Slika 6.5.).



Slika 6.5. Primjena *lean* alata i tehnika u procesima distribucije toplinske energije

6.4. Postavljanje energetske VSM mape budućeg stanja procesa distribucije

Po donošenju strategije poboljšanja procesa distribucije toplinske energije i planova implementacije odgovarajućih aktivnosti za uklanjanje i smanjenje gubitaka iz procesa, te aktivnosti za optimiziranje procesa, postavlja se energetska VSM mapa budućeg stanja procesa, prikazana na Slici 6.6. U mapi su naznačene sve izmjene i dopune u odnosu na mapu početnog stanja, a sva poboljšanja bit će iskazana kroz očekivane buduće vrijednosti ključnih parametara nakon unaprjeđenja procesa. Jedno od poboljšanja procesa kojem uvijek treba



Slika 6.6. Energetska VSM mapa budućeg stanja procesa distribucije toplinske energije

težiti je spriječiti pregrijavanje i uspostaviti načelo povlačenja umjesto guranja tj. proizvodit i distribuirati samo onu količinu toplinske energije koja je konzumu stvarno potrebna.

6.5. Provođenje mjera i aktivnosti za poboljšanje procesa

Provođenjem odabranih mjera i aktivnosti za poboljšanje procesa distribucije toplinske energije želi se preoblikovati početno stanje u buduće stanje kako bi se postigle ciljane vrijednosti ključnih pokazatelja učinkovitosti procesa. Za provedbu aktivnosti treba imenovati tim sastavljen od odgovarajućih stručnih kadrova različitih struka koji su osposobljeni za upravljanje i realizaciju istih. Propisat će se metrika praćenja ostvarenja ciljanih vrijednosti pokazatelja učinkovitosti procesa i nakon toga provoditi odabrane aktivnosti, neprestano ocjenjujući izvođenje i preispitujući postavljene ciljeve. Potrebno je provoditi analize i redovito sastavljati izvješća sa svim relevantnim podacima o napredovanju provođenja pojedinih aktivnosti i problemima koji se pojavljuju.

Težnjom za kontinuiranim poboljšavanjem procesa i zadavanjem novih ciljeva nastavlja se opisani postupak kao *PDCA* ciklus, tako da se ponovno prolazi od početnog do završnog koraka modela *LEGREM-DHE*, kao što se vidi na Slici 6.1. Na taj način se omogućuje uravnoteženo postizanje ciljeva u kojem se ne narušava potrebna kvaliteta procesa.

7. TESTIRANJE POSTAVLJENOG MODELA NA SUSTAVU DALJINSKOG GRIJANJA U OSIJEKU

Osnovni pokazatelji učinkovitosti energetskeg procesa distribucije toplinske energije u sustavima daljinskog grijanja su toplinski gubici i nadopuna ogrjevnog medija. Kako bi se pratio utjecaj procesa distribucije na okoliš, u ovom radu promatrat će se i vrijednosti emisija CO₂ nastalih u proizvodnji onog dijela toplinske energije koji služi za pokrivanje gubitaka u distribuciji. Prema [45] HERA priznaje ostvarene gubitke u vrelovodnoj/toplovodnoj distribucijskoj mreži najviše do 10%. Ukoliko su stvarni gubici veći to ide na štetu distributera i ne uračunava mu se u priznate troškove poslovanja. Regulatorna agencija neće distributeru priznati dio ostvarenih troškova tj. neće mu odobriti visinu tarifnih stavki za distribuciju s kojima bi mogao pokriti te troškove, tako da će distributer biti u problemu jer neće moći pozitivno poslovati. Stoga je interes distributera imati što bolju distribucijsku mrežu u kojoj će toplinski gubici biti manji ili jednaki onima koje metodologija dopušta. Niži gubici doprinose manjoj potrošnji goriva i manjim emisijama stakleničkih plinova. Također je bitna i kvaliteta usluga distribucije i opskrbe toplinskom energijom, koja se prati kroz broj prekida i ukupno trajanje tih prekida. Imajući u vidu navedeno, distributer treba vrijednosti parametara učinkovitosti distribucije dovesti i održavati u prihvatljivim granicama.

Oblikovani model za praćenje učinkovitosti procesa distribucije toplinske energije *LEGREM-DHE* testirat će se na sustavu daljinskog grijanja u gradu Osijeku, čiji osnovni podaci su prikazani u Prilogu 10.1. Analizirat će se početno stanje kako bi se vidjeli uzroci opisanih problema u djelatnosti distribucije. Postavit će se cilj poboljšanja parametara učinkovitosti procesa distribucije toplinske energije i, uvažavajući specifičnosti djelatnosti distribucije toplinske energije u sustavima daljinskog grijanja, primijenit će se odgovarajući *lean* alati i tehnike kroz odabrane aktivnosti za uklanjanje i smanjenje gubitaka iz procesa te odrediti metrika za praćenje ključnih pokazatelja procesa.

7.1. Energetska VSM mapa početnog stanja

Pokazatelji učinkovitosti distribucije toplinske energije u centralnom vrelovodnom sustavu su na početku promatranog razdoblja u 2004. godini iznosili:

- toplinski gubici u mreži 13,94%,
- nadopuna vrelovodnog sustava 56.391 m³/god,
- pripadajuća emisija CO₂ za gubitke 7.572 t/god i
- potrošnja električne energije za pogon glavnih cirkulacijskih crpki 4.586 MWh/god.

7.1.1. Opis problema u distribuciji toplinske energije

Toplinska djelatnost je do 2005. godine imala status komunalne djelatnosti, cijena toplinske energije je bila niska, socijalna, kontrolirana od strane lokalne samouprave tako da nije pokrivala sve troškove poslovanja i nije bilo dostatnih sredstava za razvoj i održavanje toplinskog sustava na razini i standardima na kojima je trebalo biti. Neulaganje u distribucijsku vrelovodnu mrežu u gradu Osijeku rezultiralo je dotrajalošću (prosječna starost oko 30 godina prije početka revitalizacije) i sve učestalijim puknućima cjevovoda, povećanju toplinskih i masenih gubitaka te povećanju troškova održavanja. Najčešći uzrok puknuća i propuštanja cjevovoda je korozija s vanjske strane cjevovoda uslijed prodora agresivnih oborinskih voda kroz betonski kanal. Kvarovi su se najčešće otklanjali popravcima postojećih cjevovoda hitnim intervencijama (korektivno održavanje), vrlo rijetko zamjenom dijela vrelovodne mreže. Ovakav način popravka cjevovoda predstavljao je privremeno rješenje i nije rješavao osnovni problem, a to je starenje sustava.

Polazne temperature vrelovoda određuju se ovisno o vanjskoj temperaturi zraka i brzini vjetra, ne uzimajući u obzir temperaturu u povratnom vodu, transportno kašnjenje i prognozu vremena. Ovaj nedostatak temperaturnog režima osobito dolazi do izražaja u prijelaznim jesenskim i proljetnim razdobljima, kada su izražene brze promjene vanjske temperature zraka, tako da dolazi do pregrijavanja i previsoke temperature povrata.

Hidraulički režim vrelovodne mreže karakterizira konstantan protok tijekom dnevnog i noćnog režima grijanja jer termoregulacijski ventili u većini toplinskih podstanica nisu u funkciji (toplinske podstanice nisu objekti distribucije i u vlasništvu su suvlasnika zgrade).

Stoga glavne cirkulacijske i booster crpke cijelo vrijeme rade sa stalnim brojem okretaja, a cirkulacija ogrjevnog medija se obustavlja samo kada su vanjske temperature zraka visoke i vremenska prognoza povoljna tako da nema potrebe za grijanjem (tada se održava statički tlak u mreži kako ne bi pao tlak u unutarnjim instalacijama grijanja u zgradama koje imaju direktne podstanice).

Spojni vrelovod NO 550 između TE-TO Osijek i Toplane, duljine oko 4,5 km, predstavlja "usko grlo" za daljnji razvoj vrelovodnog konzuma, širenje vrelovodne mreže i moguće snižavanje temperaturnog režima. U spojnom vrelovodu se zbog poddimenzioniranosti ostvaruje veliki pad tlaka (oko 8 bar od ukupnog pada tlaka u vrelovodnom sustavu od oko 13 bar), što nepovoljno utječe na hidraulički režim (problemi pri ispadu crpki i hidraulički udari) i naprezanja u cjevovodu.

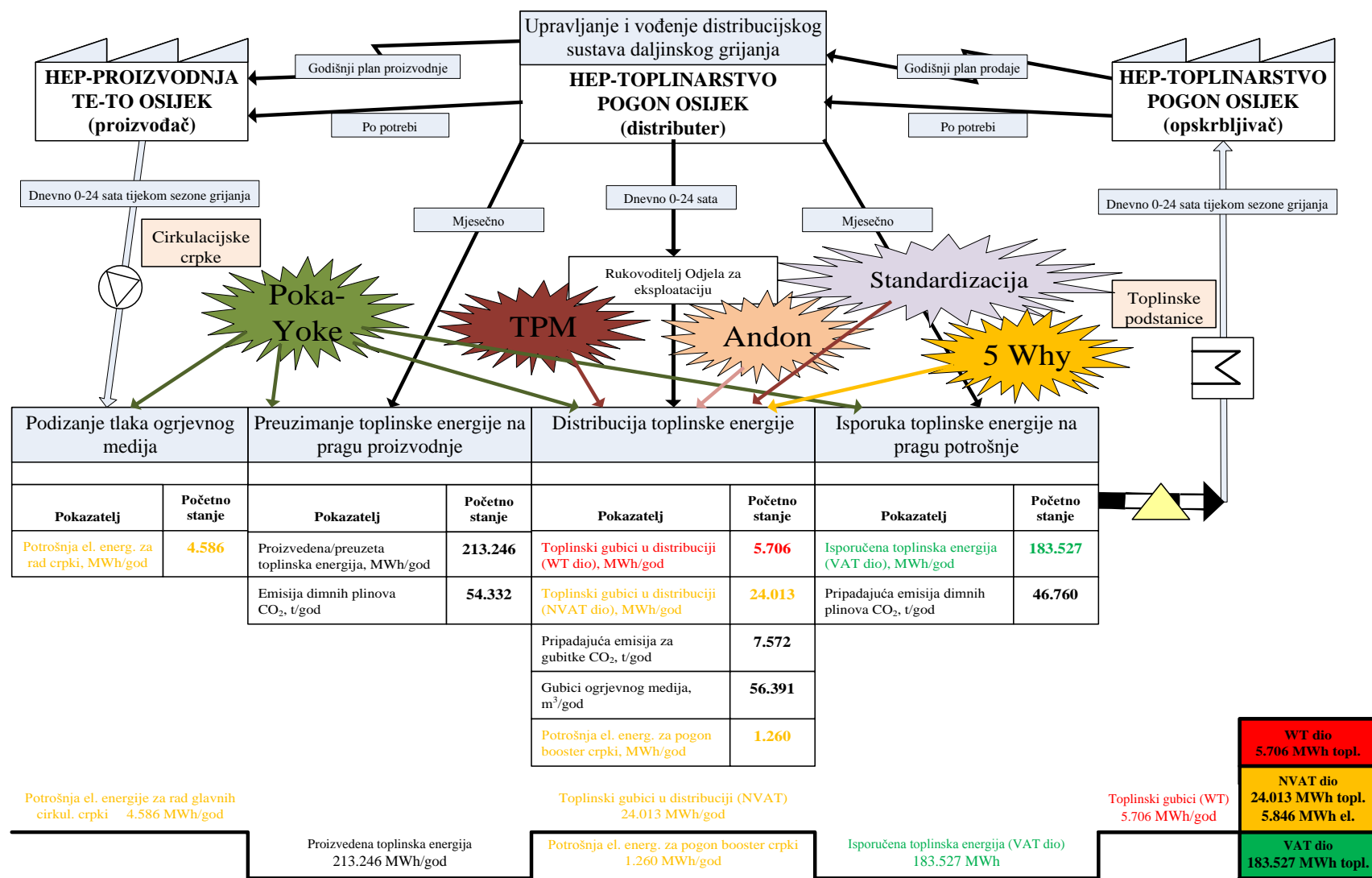
Analizirajući ove probleme u toplinskom sustavu grada Osijeka može se zaključiti da su oni najvećim dijelom posljedica sljedećeg:

- dugogodišnjeg neulaganja u revitalizaciju stare i dotrajale vrelovodne mreže (prosječna starost 25 do 30 godina)
- neodgovarajuće upravljanje i vođenje vrelovodnog sustava
- nesustavnog održavanja
- zastarjele tehnologije (cjevovodi, mjerno-regulacijska oprema, cirkulacijske crpke)
- nepostojanja strategije te provedbenih kratkoročnih i dugoročnih planova.

Pored navedenih, zasigurno postoje i drugi uzroci (kadrovski, organizacijski i dr.) koji također doprinose neučinkovitosti, no njihov utjecaj u ovom radu neće se promatrati.

7.1.2. Postavljanje mape

Na Slici 7.1. je prikazana energetska *VSM* mapa početnog stanja procesa distribucije toplinske energije, koja odgovara situaciji kada se proizvodi i distribuira više toplinske energije nego što je toplinskom konzumu u tom trenutku potrebno, tako da se praktički višak toplinske energije gura ("*push*") prema opskrbljivaču, što dovodi do pregrijavanja prostora krajnjih kupaca i povišenja temperature ogrjevnog medija u povratnom vodu toplinske mreže.



Slika 7.1. Energetska VSM mapa početnog stanja procesa distribucije toplinske energije u Pogonu Osijek

Na temelju procijenjenih potreba konzuma za toplinskom energijom HEP-Toplinarstvo d.o.o. Pogon Osijek, kao opskrbljivač i distributer, izrađuje plan prodaje kojem se dodaju predvidive količine toplinske energije potrebne za pokrivanje toplinskih gubitaka u distribuciji. To su ulazni podaci za izradu godišnjeg plana proizvodnje toplinske energije koji se dostavlja HEP-Proizvodnji d.o.o. TE-TO Osijek (proizvođaču toplinske energije). Komunikacija između proizvođača i distributera/opskrbljivača odvija se svakodnevno, po potrebi i u skladu sa sklopljenim ugovorima o korištenju distribucijske mreže i prodaji toplinske energije. Distributer očitava preuzetu toplinsku energiju na pragu proizvodnje i isporučenu toplinsku energiju na pragu potrošnje jednom mjesečno. Služba za eksploataciju Pogona Osijek vodi brigu o upravljanju i vođenju distribucijskog sustava daljinskog grijanja.

U tablicama procesa prikazano je početno stanja najznačajnijih parametara energetske učinkovitosti procesa i podaci o potrošnji električne energije za pogon glavnih cirkulacijskih i booster crpki u vrelovodnoj mreži. Na vremenskoj liniji su prikazani podaci o isporučenoj toplinskoj energiji, podaci o toplinskim gubicima te o potrošnji električne energije.

7.2. Analiza toka vrijednosti

Ukupni distribucijski toplinski gubici izračunavaju se kao razlika preuzete toplinske energije na pragu proizvodnje od TE-TO Osijek i isporučene toplinske energije svim potrošačima na pragu potrošnje, a sastoje se od:

- gubitaka koji nastaje prolazom topline s ogrjevnog medija kroz stjenku cijevi i toplinsku izolaciju prema okolini (*NVAT* dio toplinske energije) i
- gubitaka zbog pregrijavanja i propuštanja ogrjevnog medija (*WT* dio).

Od gubitaka u procesu distribucije toplinske energije, obrađenih u točki 5.4., analizirat će se *lean* gubici transporta, škarta i prekomjerne proizvodnje, te *green* gubici energije, vode (ogrjevnog medija) i emisija dimnih plinova (onog dijela emisija koji se odnosi na proizvodnju toplinske energije za pokrivanje gubitaka u distribuciji).

➤ *Transport*

Transport ogrjevnog medija u ovom slučaju predstavlja *NVAT* gubitak prema *Lean-u*, što znači da je potreban kako bi se proces distribucije mogao odvijati. Cirkulacijske crpke

podizü tlak ogrjevnog medija kako bi se omogućio protok kroz mrežu, od mjesta gdje se proizvodi toplinska energija do toplinskih podstanica gdje se predaje opskrbljivaču i krajnjim potrošačima. Nepotrebni troškovi transporta ogrjevnog medija nastaju kada su tlakovi u mreži viši od potrebnih vrijednosti koje omogućuju nominalne protoke ogrjevnog medija, ili kada su padovi tlaka na pojedinim dionicama cjevovoda veći od preporučenih vrijednosti.

Škart

Pod pojmom škarta podrazumijevamo proizvedenu toplinsku energiju koja se ne isporuči krajnjim kupcima u slučaju:

- ispada iz rada glavnih cirkulacijskih i/ili booster crpki, zbog kvara ili prekida u opskrbi električnom energijom, pa se ogrjevni medij ohladi, i
- propuštanja ogrjevnog medija u okolinu zbog puknuća cjevovoda.

Škart predstavlja čisti gubitak (*WT* dio gubitaka) i stoga je cilj ove gubitke svesti na što je moguće niže vrijednosti. Ispadi cirkulacijskih crpki su dosta rijetki i u tim slučajevima je bitno da toplinska mreža bude zaštićena od pojave hidrauličkog udara. Pozornost će se posvetiti propuštanju cjevovoda u vrelovodnim mrežama što je dosta čest problem, osobito kod većih toplinskih sustava i tamo gdje je prosječna starost mreže dosta velika.

➤ Prekomjerna proizvodnja toplinske energije

Prekomjerna proizvodnja također predstavlja čisti gubitak (*WT* dio) jer se proizvodi više toplinske energije nego što je potrebno ogrjevnom konzumu, tako da dolazi do pregrijavanja prostora, previsoke temperature ogrjevnog medija u povratnom vodu vrelovodne mreže i povećanih toplinskih gubitaka (osobito izraženo u prijelaznim jesenskim i proljetnim razdobljima kada su nagle promjene vanjske temperature zraka).

➤ Energija, voda (ogrjevni medij) i emisije dimnih plinova

U analizi *lean* gubitaka u procesu distribucije toplinske energije u točki 5.4. zaključeno je da gotovo svi gubici predstavljaju zapravo gubitak energije. Ovdje će se promatrati gubici energije - topline kroz stjenku cijevi i toplinsku izolaciju zbog razlike temperatura ogrjevnog medija i okoline u kojoj se cjevovod nalazi, koji predstavljaju nužni dio gubitaka (*NVAT* dio). Povećani toplinski gubici zbog loše toplinske izolacije cjevovoda vrelovodne mreže zahtijevaju proizvodnju većih količina toplinske energije da bi kupcima moglo biti isporučeno dovoljno energije što ima za posljedicu i povećanje emisije dimnih

plinova. Kada je prosječna starost mreže velika često su i gubici ogrjevnog medija (vode) značajni što dodatno povećava masene i toplinske gubitke.

7.3. Planovi poboljšanja procesa distribucije

Kako bi se smanjili i uklonili razmatrani *lean* i *green* gubici, s ciljem povećanja učinkovitosti procesa distribucije toplinske energije u sustavu daljinskog grijanja grada Osijeka, primijenit će se odgovarajući *lean* alati i tehnike za unaprjeđenje i poboljšanje procesa provodeći sljedeće aktivnosti karakteristične za distribuciju toplinske energije:

➤ **Revitalizacija distribucijske vrelovodne mreže** (*Standardizacija, Andon*)

Analizirat će se kako zamjena starog cjevovoda novim predizoliranim s ugrađenim sustavom za detekciju vlage, utječe na smanjenje gubitaka energije, škarta i vode (ogrjevnog medija), te koliko to doprinosi smanjenju emisija stakleničkih plinova zbog manje potrošnje goriva za proizvodnju dijela toplinske energije koji služi za pokrivanje gubitaka u distribuciji. Ovo je primjer aktivnosti za provođenje dugoročne *ERO* strategije poboljšanja energetskog procesa distribucije toplinske energije.

➤ **Tehničko-ekonomsko optimiziranje sustava daljinskog grijanja** (*Poka –Yoke, Pull*)

Na temelju stvarnih podataka o temperaturama polaza i povrata te protoka u vrelovodnoj mreže, pomoću programskog paketa Termis optimizirat će se temperaturni režim i rad glavnih cirkulacijskih crpki vrelovodne mreže s ciljem smanjenja i uklanjanja gubitaka prekomjerne proizvodnje toplinske energije i transporta ogrjevnog medija.

➤ **Poboljšanje kvalitete korektivnog održavanja** (*TPM, 5 Whys*)

Prikazat će se kako se poboljšanjem dijela korektivnog održavanja vrelovodne mreže, koji se odnosi na izvođenje hitnih intervencija u slučaju puknuća cjevovoda, može smanjiti škart tj. gubitak toplinske energije.

Pored ovih aktivnosti, koje su i realizirane, razmotrit će se još dvije čija provedba se očekuje uskoro:

➤ **Zamjena spojnog vrelovoda** (*Analiza "uskog grla"*)

Na primjeru postojećeg spojnog vrelovoda NO 550 između TE-TO Osijek i stare Toplane, duljine oko 4,5 km, koji predstavlja "usko grlo" razvoju toplinskog konzuma, analizirat će se kako bi zamjena novim cjevovodom veće dimenzije NO 800 utjecala na smanjenje gubitaka transporta ogrjevnog medija.

➤ **Ugradnje razdjelnika i termostatskih radijatorskih ventila** (*Poka –Yoke*)

Uz navedene aktivnosti iz područja distribucije toplinske energije, prikazat će se i utjecaj očekivanog smanjenja potrošnje toplinske energije krajnjih korisnika, nakon ugradnje uređaja za lokalnu razdiobu troškova isporučene energije (razdjelnika) i termostatskih radijatorskih ventila, na distribucijske gubitke u vrelovodnoj mreži.

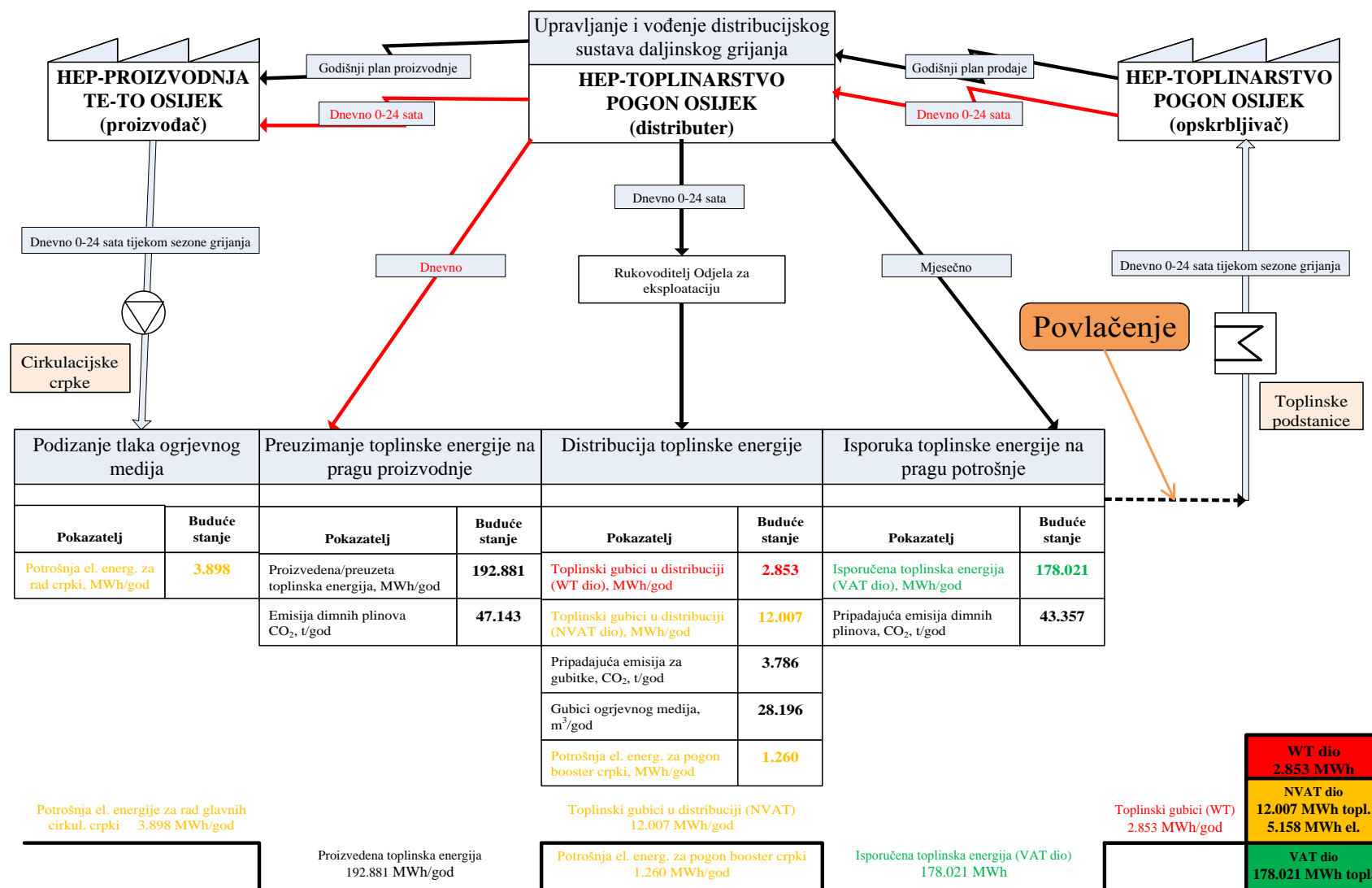
U mapi početnog stanja prikazani su svi ovdje navedeni *lean* alati kako bi se dobila slika o mogućnostima njihove primjene s ciljem ostvarenja poboljšanja procesa distribucije.

7.4. Energetska VSM mapa budućeg stanja

U mapi budućeg stanja na Slici 7.2. su naznačene sve izmjene i dopune u odnosu na mapu početnog stanja, a očekivana poboljšanja procesa iskazana su kroz postavljene ciljne vrijednosti ključnih pokazatelja procesa distribucije u tablicama procesa. Uvođenjem sustava za optimiziranje rada vrelovodne mreže dolazi do promjene u komunikacijskim tokovima s proizvođačem i opskrbljivačem, tako da će distributer u svakom trenutku imati stvarne podatke o sustavu. Spriječit će se pregrijavanje i "guranje" toplinske energije u mrežu, proizvodi će se i distribuirati samo onoliko koliko konzum "povuče".

U tablicama procesa mape budućeg stanja prikazana su ciljana smanjenja vrijednosti ključnih pokazatelja procesa nakon provođenja revitalizacije vrelovodne mreže, kao aktivnosti koja najznačajnije doprinosi poboljšanju procesa distribucije:

- 50% za toplinske gubitke u mreži, pripadajuću emisiju CO₂ te nadopunu vrelovodnog sustava,
- 3% za isporučenu toplinsku energije i
- 15% za potrošnju električne energije za pogon glavnih cirkulacijskih crpki.



Slika 7.2. Energetska VSM mapa budućeg stanja procesa distribucije toplinske energije u Pogonu Osijek (nakon revitalizacije mreže)

Imajući u vidu ovisnost potrošnje (i proizvodnje) toplinske energije od vanjskih temperatura zraka, o tome je li sezona grijanja toplija ili hladnija, ciljane vrijednosti iskazane su u relativnom iznosu smanjenja. Mogu se vrijednosti ključnih podataka svoditi i na tzv. referentnu sezonu grijanja (preko ostvarenih vršnih sati ili stupanj dana), no relativni odnosi bi ostali isti, tako da će u tablicama *lean* i *green* metrike za svaku promatranu aktivnost biti prikazane stvarne vrijednosti pokazatelja i indeks promjene u odnosu na njihove početne vrijednosti, iz čega će se moći vidjeti koliko pojedini *lean* alat kroz provedenu aktivnost doprinosi unaprjeđenju procesa.

Poboljšanje korektivnog održavanja nije mjerljivo kroz pokazatelje koji se prate u energetske mapama, ali svakako doprinosi i indirektno je sadržano u ostvarenju njihovih očekivanih vrijednosti.

Kao što se vidi u tablici procesa distribucije dio *WT* gubitaka, koji se odnosi se na toplinsku energiju koja se gubi propuštanjem ogrjevnog medija, se prikazuje i u budućem stanju jer je to, nažalost dio koji će uvijek biti prisutan, osobito u većim sustavima, no treba težiti da on u svakom sljedećem ciklusu poboljšanja bude što manji.

7.5. Provođenje mjera i aktivnosti za poboljšanje procesa

Za provedbu navedenih aktivnosti nužno je osigurati odgovarajuće visokostručne i kadrove različitih struka (strojarske, elektro, građevinske, ekonomske i pravne) osposobljene za upravljanje projektima te imenovati timove za pripremu, realizaciju, praćenje, analize i redovito izvještavanje o napredovanju projekta. Za svaku aktivnost treba u polugodišnjem i godišnjem izvještaju dati sljedeće podatke:

- postotak fizičke realizacije u odnosu na planirano
- postotak financijske realizacije
- vrijednost toplinskih gubitaka
- nadopunu vrelovodne mreže
- broj i trajanje prekida u isporuci toplinske energije
- emisije CO₂ i
- realizaciju plana nabave.

U izvještajima treba opisati i probleme koji se pojave u realizaciji aktivnosti vezano za:

- nabavu roba, radova i usluga
- izvoditelje radova
- nedostatak financijskih sredstava, probijanje ugovorenih iznosa
- izradu potrebne dokumentacije
- ishodenje potrebnih dozvola
- zaštitu na radu i zaštitu od požara
- zaštitu okoliša
- radove u zaštićenom konzervatorskom području i dr.

Provedbe odabranih aktivnosti za smanjenje i optimiziranje promatranih gubitaka u procesu distribucije toplinske energije u Pogonu Osijek (iz točke 7.3.), s pripadajućom tablicom *lean* i *green* metrike, bit će opisane i prikazane zasebno.

7.6. Revitalizacija distribucijske vrelovodne mreže

Dotrajalu toplinsku mrežu treba redovito zamjenjivati uzimajući u obzir:

- starost cjevovoda
- stanje cjevovoda i toplinske izolacije
- broj puknuća cjevovoda na pojedinim dionicama
- kapacitet cjevovoda
- značaj cjevovoda (veličina konzuma koje opskrbljuje, broj potrošača i toplinska snaga) i
- usklađivanje s planovima lokalnih vlasti o uređenju javnih površina i zamjenom komunalne infrastrukture.

Dugogodišnje neulaganja u revitalizaciju vrelovodne mreže jedan je od glavnih uzroka problematike u toplinskom sustavu grada Osijeka opisane u točki 7.1.1. Stoga je bilo očito da je revitalizacija nužna tako da je zamjena magistralne vrelovodne mreže u manjem opsegu započela u 2005. i 2006. godini, a nakon toga je, u razdoblju od 2007. do 2010. godine, realiziran projekt revitalizacije vrelovodne mreže financiran dijelom iz kredita Svjetske banke. U sklopu ovog projekta je zamijenjeno oko 20% stare mreže (Slika 7.3.), što je značajno pridonijelo smanjenju toplinskih gubitaka.



Slika 7.3. Revitalizacija vrelovodne mreže u Osijeku

Revitalizacija u skladu s propisanim pravilima Svjetske banke u svim fazama provođenja projekta, koje su obuhvaćale pripremu (izrade studije isplativosti, studije utjecaja na okoliš, projektne dokumentacije, ishodenje potrebnih dozvola), planiranje dinamike realizacije projekta po godinama (definiranje ciljanih vrijednosti ključnih pokazatelja uspješnosti revitalizacije, plan nabave roba, radova i usluga), izvođenje radova na revitalizaciji i praćenje ostvarenih vrijednosti pokazatelja, prihvaćena je i usvojena kao dobar obrazac za standardizaciju svih opisanih postupaka i njihovo poboljšavanje temeljem stečenih iskustava i znanja. Imajući u vidu da je pri zamjeni cjevovoda korištena tehnologija beskanalnog polaganja predizoliranih cijevi s ugrađenim sustavom za detekciju vlage, kroz revitalizaciju se, pored spomenute *Standardizacije rada*, može prikazati primjena još jednog *lean* alata *Andona*. Uređaji za nadzor sustava detekcije opremljeni su *GSM* modulom tako da svaku pojavu vlage u cjevovodu dojavljuju distributeru i na taj način signaliziraju nastanak problema u njegovoj početnoj fazi, što je vrlo bitno kako bi se pravovremeno moglo otkloniti nedostatke i tako spriječiti daljnja oštećenja cjevovoda.

Ulaganja u vrelovodnu mrežu su se nastavila i nakon 2010. godine, kako bi se zamijenili dotrajali cjevovodi i prosječna starost mreže zadržala u prihvatljivim granicama, što je preduvjet za smanjenje toplinskih gubitaka, učinkovitiju, sigurniju distribuciju i opskrbu kupaca ogrjevnom toplotom.

7.6.1. Opseg revitalizacije

U Tablici 7.1. su prikazane duljine, nazivni otvori (NO) i starost dionica vrelovoda koje su zamijenjene na navedenim lokacijama u gradu Osijeku u desetogodišnjem razdoblju od 2005. do 2014. godine. Iz strukture prema starosti, odnosno razdoblju izgradnje, vidljivo je kako su zamijenjeni uglavnom najstariji dijelovi mreže. Ukupna duljina trase vrelovodne mreže koja je zamijenjena iznosi 12665 m. Tijekom 2007. i 2008. godine iz kredita Svjetske banke realizirale su se samo aktivnosti na izgradnji novog vrelovoda (priklučenje ogrjevnog konzuma kotlovnice V. Nazor na vrelovodni sustav i izgradnja vrelovodnog raspjeta i priključka za sportsku dvoranu Gradski vrt) tako da u ovim godinama nije bilo zamjene postojeće mreže te stoga ove godine nisu prikazane u tablicama.

Tablica 7.1. Struktura zamjene vrelovoda prema nazivnom otvoru i starosti

Stavka	Jedinica mjere	Područje																						Ukupno
		STEPINČEVA	SIENJAK, faza 1	ŠAMAČKA	SIENJAK, faza 2	TRPMIROVA, faza 1	TVRDA	DONJI GRAD	ZVONIMIROVA	ZVONIMIROVA ODVOJCI	EUROPSKA AVENIJA	RADIČEVA, faza 1	TRPMIROVA, faza 2	TRG SLOBODE, faza 1	ZRINEVAC	VIJENAC GORANA ZOBUNDŽIJE	RADIČEVA, faza 2	TRG SLOBODE, faza 2	TRPMIROVA	BLOK CENTAR	DRINSKA	JUŽNA MAGISTRALA	IKTUS	
Godina zamjene		2005	2006	2009			2010			2011			2012			2013			2014					
A. DULJINA TRASE																								
NO 40	m				183		36	9		0	30	30		12					54			30		384
NO 50	m				99			45		6	6				90	110				42		6		404
NO 65	m				135		441	0		60	39			24	25			24			114		420	1282
NO 80	m				69		402	54		372		36		218								150		1301
NO 100	m				318		102	144		132		72			126	100								994
NO 125	m						96			294		48			72			74			78	6		668
NO 150	m				156		72	228		0				240		15		240						951
NO 200	m		140		462	30	156	354		0								120			342	18		1622
NO 250	m				534					0											330	156		1020
NO 300	m			147						54	210										306	510		1227
NO 400	m																		402					402
NO 450	m					324					54													378
NO 500	m	153							1020															1173
NO 650	m												180						679					859
B. RAZDOBLJE IZGRADNJE																								
1963-1967	godina									66														66
1968-1972	godina		140	147	822		819	727		372		186						338				510		4061
1973-1977	godina				514		486			132	339				241							174		1886
1978-1982	godina	81			522					294											1170	192	420	2679
1983-1987	godina	72			98	354		107	1020	54			180				120		679					2684
1988-1992	godina													566		225				498				1289
UKUPNO:		153	140	147	1956	354	1305	834	1020	918	339	186	180	566	241	225	120	338	679	498	1170	876	420	12665

7.6.2. Lean i green metrika

Osnovni podaci o učinkovitosti vrelovodnog sustava grada Osijeka u 2004. godini, tj. prije početka revitalizacije vrelovodne mreže, prikazani u Tablici 7.2., koristit će se kao početno stanje te analizu isplativosti i opravdanosti provedene revitalizacije vrelovodne mreže u razdoblju od 2005. do 2014. godine. Kretanje osnovnih parametara učinkovitosti procesa distribucije toplinske energije tijekom promatranog razdoblja revitalizacije vrelovodne mreže

prikazano je u Tablici 7.2.

Tablica 7.2. *Lean i green* metrika – praćenje revitalizacije vrel vodne mreže

Parametri učinkovitosti procesa distribucije toplinske energije	Godina revitalizacije					
	Početno stanje 2004.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.
1	2	3	4	5	6	7
Preuzeta (proizvedena) energija, MWh/god	213.246	219.903	183.290	173.049	191.915	194.219
Isporučena energija VAT dio , MWh/god	183.527	195.991	170.906	161.415	180.050	180.989
Ukupni toplinski gubici, MWh/god	29.719	23.912	12.384	11.634	11.865	13.230
Ukupni toplinski gubici, %	13,94	10,87	6,76	6,72	6,18	6,81
Toplinski gubici WT dio , MWh/god	5.706	6.061	4.876	3.507	2.905	2.770
Toplinski gubici NVAT dio , MWh/god	24.013	17.851	7.508	8.127	8.960	10.460
Pripadajuća emisija CO ₂ za gubitke, t/god	7.572	5.927	3.124	2.966	3.051	3.371
Gubici ogrjevnog medija, m ³ /god	56.391	63.967	55.093	38.174	30.437	28.013
Gubici ogrjevnog medija/volumen mreže	12,5	14,2	12,2	8,5	6,4	5,9
Parametri učinkovitosti procesa distribucije toplinske energije	Godina revitalizacije					
	2010.	2011.	2012.	2013.	Završno stanje 2014.	Indeks
8	9	10	11	12	13	14(13/2)
Preuzeta (proizvedena) energija, MWh/god	215.342	208.935	192.733	189.152	165.225	77,48
Isporučena energija VAT dio , MWh/god	199.845	194.519	179.820	176.479	154.045	83,94
Ukupni toplinski gubici, MWh/god	15.497	14.416	12.913	12.673	11.180	37,62
Ukupni toplinski gubici, %	7,20	6,90	6,70	6,70	6,77	48,57
Toplinski gubici WT dio , MWh/god	3.511	3.180	2.930	3.052	2.705	47,41
Toplinski gubici NVAT dio , MWh/god	11.986	11.236	9.983	9.621	8.475	35,29
Pripadajuća emisija CO ₂ za gubitke, t/god	3.949	3.673	3.290	3.229	2.848	37,61
Gubici ogrjevnog medija, m ³ /god	33.195	32.562	30.205	31.870	26.418	46,85
Gubici ogrjevnog medija/volumen mreže	7,0	6,9	6,4	6,7	5,6	44,8

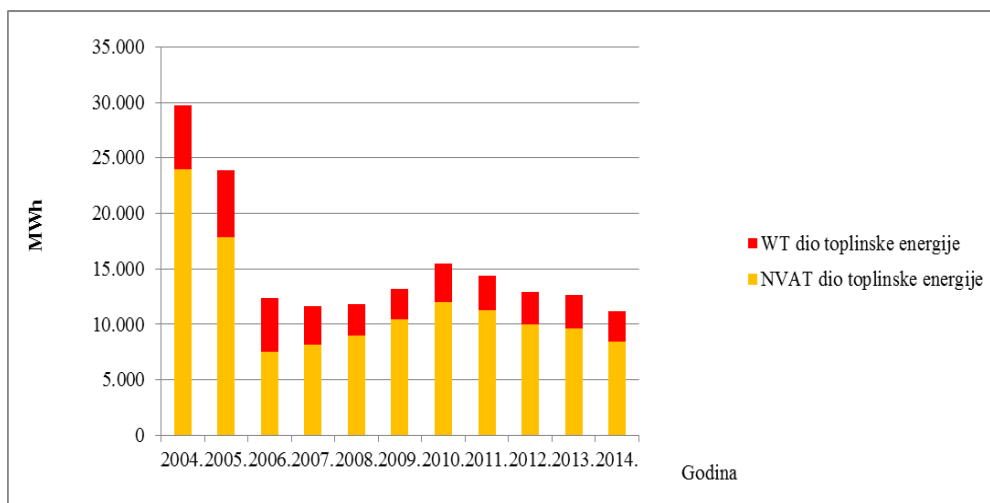
Podaci o proizvedenoj i isporučenoj toplinskoj energiji te gubicima ogrjevnog medija, navedeni u Tablici 7.2., su iz godišnjih izvješća o poslovanju Pogona Osijek [65], uz napomenu da podaci za 2010. i 2014. godinu odstupaju od navedenih u izvješćima. U 2010. godini servisiran je i baždaren veliki broj mjerila toplinske energije, što je trebalo biti obavljeno izvan sezone grijanja, no zbog problema s ovlaštenim laboratorijem ista su baždarena u sezoni. Stoga je umjesto obračuna po mjerenju primijenjen tzv. paušalni obračun, u skladu s Općim uvjetima za opskrbu toplinskom energijom, što je bilo povoljnije za potrošače, a nepovoljnije za distributera toplinske energije. Ukupno proizvedena toplinska energija tijekom jednog mjeseca dijelila se s ukupno ugovorenom toplinskom snagom ogrjevnog konzuma kako bi se dobio broj vršnih sati proizvodnje, koji se množio s ugovorenom snagom na mjerilu toplinske energije i koeficijentom 0,8. Stvarni gubici u distribuciji su bili značajno niži od onih koji proizlaze iz ovakvog načina obračuna, tako da je izračun išao na štetu distributera i doprinio je prikazu krivog stanja o gubicima za tu godinu. Stoga je napravljena korekcija isporučene toplinske energije tj. umjesto koeficijenta 0,8 je uzet odgovarajući mjesečni koeficijent gubitaka iz prethodne godine.

U 2014. godini je, zbog problema u postrojenju za kemijsku pripremu vode, dio ogrjevnog medija iz povrata vrelovoda korišten kao napojna voda za rad parnog kotla na lokaciji stare Toplane za vrijeme izvođenja radova na zamjeni parovodne mreže. To je rezultiralo povećanom nadopunom i toplinskim gubicima u tom razdoblju, tako da je ovdje umanjena količina proizvedene toplinske energije za dio koji je potrošen za rad parnog kotla.

Razlika između preuzete i isporučene toplinske energije predstavlja ukupne toplinske gubitke. Gubici energije (*WT* dio) zbog propuštanja cjevovoda izračunavaju se prema formuli:

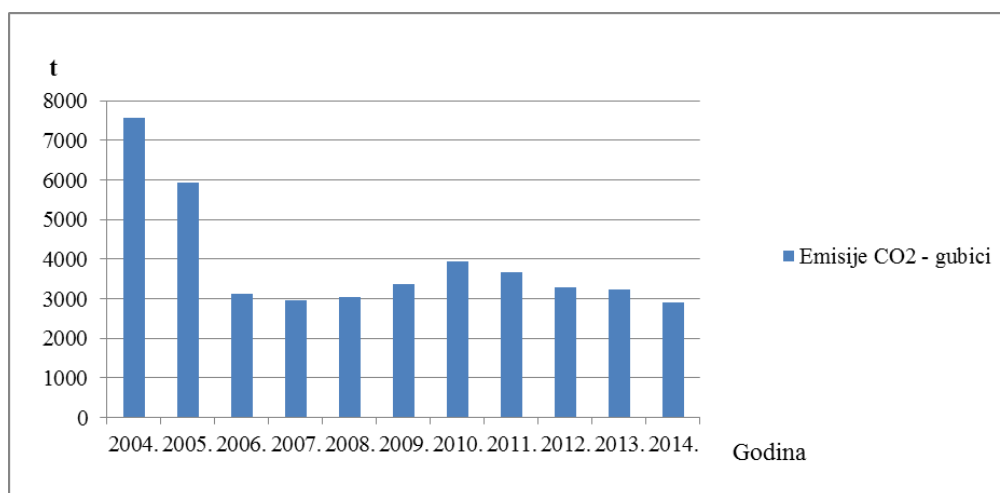
$$Q = \rho * V * c_p * (T_2 - T_1) \quad (1)$$

kao umnožak gustoće ogrjevnog medija (kg/m^3), gubitaka ogrjevnog medija (m^3), specifične topline (kJ/kgK) i odgovarajuće razlike temperatura medija (K). Gubici zbog pregrijavanja (*WT* dio gubitaka) su izračunati za 2014. godinu na način opisan u točki 7.7.1. i iznosili su 4,2% od ukupnih gubitaka, tako da je ovaj postotak uzet i za ostale godine revitalizacije. Razlika između ukupnih toplinskih gubitaka i *WT* gubitaka predstavlja *NVAT* dio gubitaka. Na Slici 7.4. prikazano je kretanje toplinskih gubitaka tijekom revitalizacije vrelovodne mreže. Uspoređujući završno i početno stanje vidljivo je izrazito smanjenje *WT* i *NVAT* dijela toplinskih gubitaka.



Slika 7.4. Toplinski gubici u distribuciji (NVAT i WT dio)

Smanjenje toplinskih gubitaka značilo je i manju proizvodnju toplinske energije potrebne za pokrivanje distribucijskih gubitaka u vrelvodnoj mreži tako da je potrošeno manje goriva i smanjena emisija dimnih plinova, kao što je prikazano na Slici 7.5. Podaci o emisijama dimnih plinova navedeni u Tablici 7.2. su iz zvaničnih godišnjih izvješća [66] koja TE-TO Osijek dostavlja u Registar onečišćavanja okoliša.



Slika 7.5. Emisije CO₂ – dio koji se odnosi na toplinske gubitke u distribuciji

U Tablici 7.3. uspoređene su ciljane vrijednosti iz mape budućeg stanja i ostvarene vrijednosti ključnih pokazatelja procesa distribucije s vrijednostima iz mape početnog stanja. Imajući u vidu ostvarene vrijednosti može se zaključiti da su primjenom *lean* alata *Standardizacije rada* kroz provedbu revitalizacije vrelvodne mreže ostvarene značajne uštede, veće od ciljanih, što potvrđuje da ova aktivnost najviše doprinosi poboljšanju procesa.

Tablica 7.3. Uštede ostvarene primjenom *Standardizacije rada* kroz revitalizaciju mreže

Stavke		Stanje prije revitalizacije	Stanje poslije - ciljano	Stanje poslije - ostvareno	Uštede	Ciljane uštede, %	Ostvarene uštede, %
1	2	3	4	5	6 (3-5)	7	8(6/3)*100
Ukupni toplinski gubici	MWh/god	29.719	14.860	11.180	18.539	50,00	62,38
	%	13,94	6,97	6,77	7,17	50,00	51,43
Pripadajuća emisija CO ₂ za gubitke	t/god	7.572	3.786	2.848	4.724	50,00	62,38
Gubici ogrjevnog medija	m ³ /god	56.391	28.196	26.418	29.973	50,00	53,15

7.6.3. Analiza isplativosti revitalizacije

Obično se analize isplativosti rade prije donošenja odluke o realizaciji nekog projekta, što je i ovdje bio slučaj za dio mreže čija zamjena se većim dijelom financirala iz kredita Svjetske banke (razdoblje od 2007. do 2010. godine) [67]. Analize su rjeđe nakon realizacije projekta, što ne znači da se ne trebaju provoditi, naprotiv, preporuka je učiniti ih kako bi se vidjelo pravo stanje i dobili korisni podaci i iskustva koja se mogu koristiti kod izrade nekih budućih studija i procjena opravdanosti. Stoga će ovdje biti prikazana analiza isplativosti nakon provedene revitalizacije sa stvarnim podacima o troškovima koji su u navedenom razdoblju bili značajno promjenjivi (na kraju razdoblja su troškovi revitalizacije bili gotovo upola niži od onih na početku, što je bila posljedica pada gospodarskih aktivnosti i krize tako da su ostvarene cijene na nadmetanjima za nabavu robe, a osobito za izvođenje građevinskih i strojarskih radova na zamjeni vrelovoda, nakon 2010. godine bile svake godine sve niže).

Troškovi revitalizacije vrelovodne mreže određeni su na temelju stvarnih troškova izvedenih strojarskih, građevinskih i elektro radova na zamjeni navedenih dionica mreže u promatranom razdoblju (Tablice 7.4. i 7.5.).

Tablica 7.4. Ukupni troškovi ulaganja u zamjenu vrelovoda – po godinama

Stavka	Jedinica mjere	Razdoblje revitalizacije, god								Ukupno
		1	2	3	4	5	6	7	8	
		2005	2006	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Duljina trase	m	293	147	4449	1938	1271	1603	1668	1296	12665
Ukupni troškovi zamjene	kn	2.112.225,85	874.479,62	21.539.931,05	14.927.066,76	4.236.491,67	7.722.311,09	5.561.789,05	3.156.847,43	60.131.142,52
	€	289.032,90	120.712,68	2.959.305,31	2.076.486,30	573.762,00	1.027.331,22	746.442,56	417.233,71	8.210.306,68

Tablica 7.5. Troškovi ulaganja u zamjenu vrelovoda – po području i godinama

Područje	Godina zamjene	Dužina trase (m)	Ukupni troškovi zamjene (kn)	Jedinični trošak zamjene (kn/m trase)
STEPINČEVA	2005	153	1.493.616,16 kn	9.762,20 kn
SJENJAK, faza 1	2005	140	618.609,69 kn	4.418,64 kn
ŠAMAČKA	2006	147	874.479,62 kn	5.948,84 kn
SJENJAK, faza 2	2009	1956	9.366.562,44 kn	4.788,63 kn
TRPIMIROVA, faza 1	2009	354	2.588.715,13 kn	7.312,75 kn
TVRĐA	2009	1305	5.850.266,68 kn	4.482,96 kn
DONJI GRAD	2009	834	3.734.386,80 kn	4.477,68 kn
ZVONIMIROVA	2010	1020	9.545.966,30 kn	9.358,79 kn
ZVONIMIROVA ODVOJCI	2010	918	5.381.100,46 kn	5.861,77 kn
EUROPSKA AVENIJA	2011	339	2.280.158,65 kn	6.726,13 kn
RADIĆEVA, faza 1	2011	186	587.211,50 kn	3.157,05 kn
TRPIMIROVA, faza 2	2011	180	797.524,90 kn	4.430,69 kn
TRG SLOBODE, faza 1	2011	566	571.596,62 kn	1.009,89 kn
ZRINJEVAC	2012	241	731.026,53 kn	3.033,31 kn
VIJENAC GORANA ZOBUNDŽI	2012	225	399.190,28 kn	1.774,18 kn
RADIĆEVA, faza 2	2012	120	429.718,84 kn	3.580,99 kn
TRG SLOBODE, faza 2	2012	338	597.426,80 kn	1.767,53 kn
TRPIMIROVA	2012	679	5.564.948,64 kn	8.195,80 kn
BLOK CENTAR	2013	498	2.758.355,80 kn	5.538,87 kn
DRINSKA	2013	1170	2.803.433,25 kn	2.396,10 kn
JUŽNA MAGISTRALA	2014	876	2.697.510,42 kn	3.079,35 kn
IKTUS	2014	420	459.337,01 kn	1.093,66 kn
SVEUKUPNO		12665	60.131.142,52 kn	4.747,82 kn

Revitalizacijom vrelovodne mreže ostvarit će se niži troškovi poslovanja zbog smanjenja:

- gubitaka topline u mreži
- gubitaka vode iz mreže
- troškova korektivnog održavanja i
- neisporučene toplinske energije (tijekom prekida u opskrbi toplinskom energijom zbog puknuća i propuštanja cjevovoda).

Smanjenje neisporučene toplinske energije je zanemarivo u odnosu na ostala smanjenja (kao što se vidi u Tablici 7.9. u točki 7.8.3.), tako da se u ekonomskoj analizi neće uzimati u obzir. Smanjenja gubitaka topline i vode izračunat će se uz pretpostavku da bi njihov porast u promatranom razdoblju, u slučaju da nije bilo revitalizacije, bio jednak ostvarenim uštedama, tj. u izračun će se uzeti dvostruki iznos smanjenja. Razlike parametara završnog stanja 2014. i početnog stanja 2004. godine raspodijelit će se na pojedine godine ovog razdoblja u jednakim iznosima.

Pregled smanjenja troškova ostvarenih zamjenom vrelovoda u promatranom razdoblju dan je u Tablici 7.6.

Tablica 7.6. Dobici ostvareni zamjenom vrelovoda u Osijeku

Stavka	Jedinica	Razdoblje promatranja, god				
		1	2	3	4	5
		2005.	2006.	2007.	2008.	2009.
Dobici od revitalizacije vrelvodne mreže						
Smanjenje troškova nabave toplinske energije	MWh	7.661	21.043	23.647	25.270	25.759
	kn	1.015.695	2.155.434	3.400.675	5.400.957	5.704.846
Smanjenje troškova dopune	m ³	-4.579	7.292	27.208	37.942	43.363
	kn	-54.536	86.848	324.047	451.889	516.453
Smanjenje troškova održavanja	kn	6.000	9.000	9.000	9.000	98.000
Ukupno smanjenje troškova	kn	967.159	2.251.282	3.733.722	5.861.846	6.319.299
Stavka	Jedinica	Razdoblje promatranja, god				
		6	7	8	9	10
		2010.	2011.	2012.	2013.	2014.
Dobici od revitalizacije vrelvodne mreže						
Smanjenje troškova nabave toplinske energije	MWh	25.346	28.281	31.638	33.732	37.079
	kn	5.959.605	7.323.931	10.217.176	9.695.251	10.347.637
Smanjenje troškova dopune	m ³	41.178	44.808	50.162	51.494	59.946
	kn	490.430	533.663	597.429	613.294	713.957
Smanjenje troškova održavanja	kn	137.000	162.000	194.000	227.000	253.000
Ukupno smanjenje troškova	kn	6.587.035	8.019.594	11.008.605	10.535.545	11.314.594

Pretpostavlja se da su godišnja smanjenja troškova u razdoblju promatranja od 11. do 20. godine jednake vrijednostima u 10.-oj godini tako da nisu prikazane u tablici. Smanjenje troškova nabave toplinske energije za pokrivanje distribucijskih toplinskih gubitaka zbog njihovog smanjenja nakon revitalizacije vrelovodne mreže znači manju potrošnju goriva i emisija CO₂. U Tablici 7.2. emisije su samo prikazane količinski, kako bi se vidjelo koliko poboljšanje procesa distribucije pridonosi smanjenju emisija i koliko je to u odnosu na zacrtane planove (troškovi emisija su sadržani u troškovima nabave toplinske energije).

Isplativost revitalizacije je analizirana mjerenjem učinaka ekonomskih i financijskih tokova u budućem razdoblju uporabe zamijenjenih vrelovoda. Analiza je prikazana u Prilogu 10.2., a načinjena je na temelju analitičkih pretpostavki, koje u najvećoj mogućoj mjeri odgovaraju stvarnom stanju. Zaključci analize [68] isplativosti revitalizacije vrelovodne mreže primjenom metode razdoblja povrata ulaganja su sljedeći:

- Zamjenom dotrajalih vrelovoda ostvarena je potpuna pouzdanost i sigurnost opskrbe toplinskom energijom na trasama gdje je obavljena zamjena te time znatno povećana funkcionalnost cjelokupnog distribucijskog sustava. U potpunosti je ostvarena društvena opravdanost projekta.
- U svim godinama analitičkog razdoblja ostvaruju se pozitivni ekonomski tokovi mjereni neto dobitcima od ušteda.
- Svođenjem iznosa sukcesivnih ulaganja na vrijednost na početak projekta postignuta je usporedivost učinaka ekonomskih tokova s izdancima za financiranje projekta.
- Diskontiranjem ekonomskih i financijskih tokova po projektiranoj diskontnoj stopi od 6,5% proizlazi da će ulaganja biti vraćena u 13. godini.

Ukupnim ulaganjem od 60,1 milijun kuna u revitalizaciju vrelovodne mreže u gradu Osijeku od 2005. do 2014. godine očekuje se ostvarenje neto dobitka od 127,1 milijun kuna do 2024. godine. Treba napomenuti da važeće regulirane cijene za tarifnu stavku energije u proizvodnji i distribuciji toplinske energije u centralnom vrelovodnom toplinskom sustavu grada Osijeka na kraju 2014. godine ne pokrivaju troškove u ovim djelatnostima te je stoga nužno njihovo usklađivanje sa stvarnim troškovima proizvodnje i distribucije. Imajući ovo u vidu nije rađena analiza osjetljivosti na promjene (povećanje) cijena toplinske energije jer bi u tom slučaju rezultati ove analize bili još povoljniji.

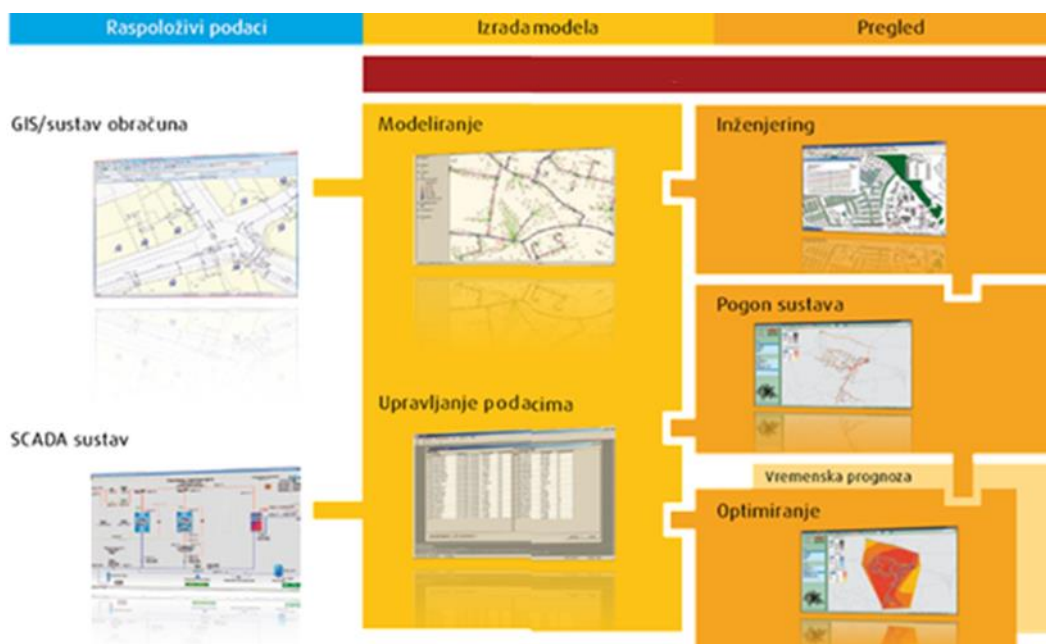
7.7. Tehničko-ekonomsko optimiziranje sustava daljinskog grijanja

Regulirane cijene toplinske energije potiču proizvođače i distributere na pronalaženje unutarnjih pričuva kako bi se smanjili troškovi poslovanja. U djelatnosti distribucije toplinske energije najviše prostora ima u smanjenju toplinskih gubitaka, optimiziranju procesa i donošenju kvalitetnih odluka o investiranju u sustave daljinskog grijanja. Optimiziranje procesa distribucije toplinske energije možemo, u skladu s *Lean* razmišljanjem, promatrati kao jednu od aktivnosti *Poka-Yoke* metode (sprječavanje pogreške tj. odstupanja vrijednosti temperature i tlaka ogrjevnog medija, kao ključnih parametara procesa, od zadanih vrijednosti), pomoću koje se postiže kontinuirano poboljšanje procesa distribucije, što je jedna od osnovnih značajki svih *lean* procesa. Optimiziranjem se sprječava pregrijavanje, guranje viška toplinske energije ("*push*") prema krajnjim kupcima i omogućuje da se proizvodi i distribuira samo ona toplinska energija koja je konzumu stvarno potrebna ("*pull*").

Cilj tehničko-ekonomskog optimiziranja sustava daljinskog grijanja je stvoriti vrijednost iz perspektive krajnjeg kupca osiguravajući mu odgovarajuću kvalitetu toplinske energije, uklanjajući pri tome nepotrebne gubitke kako bi imali što niže troškove proizvodnje i distribucije toplinske energije. Provedba programa optimiziranja treba omogućiti:

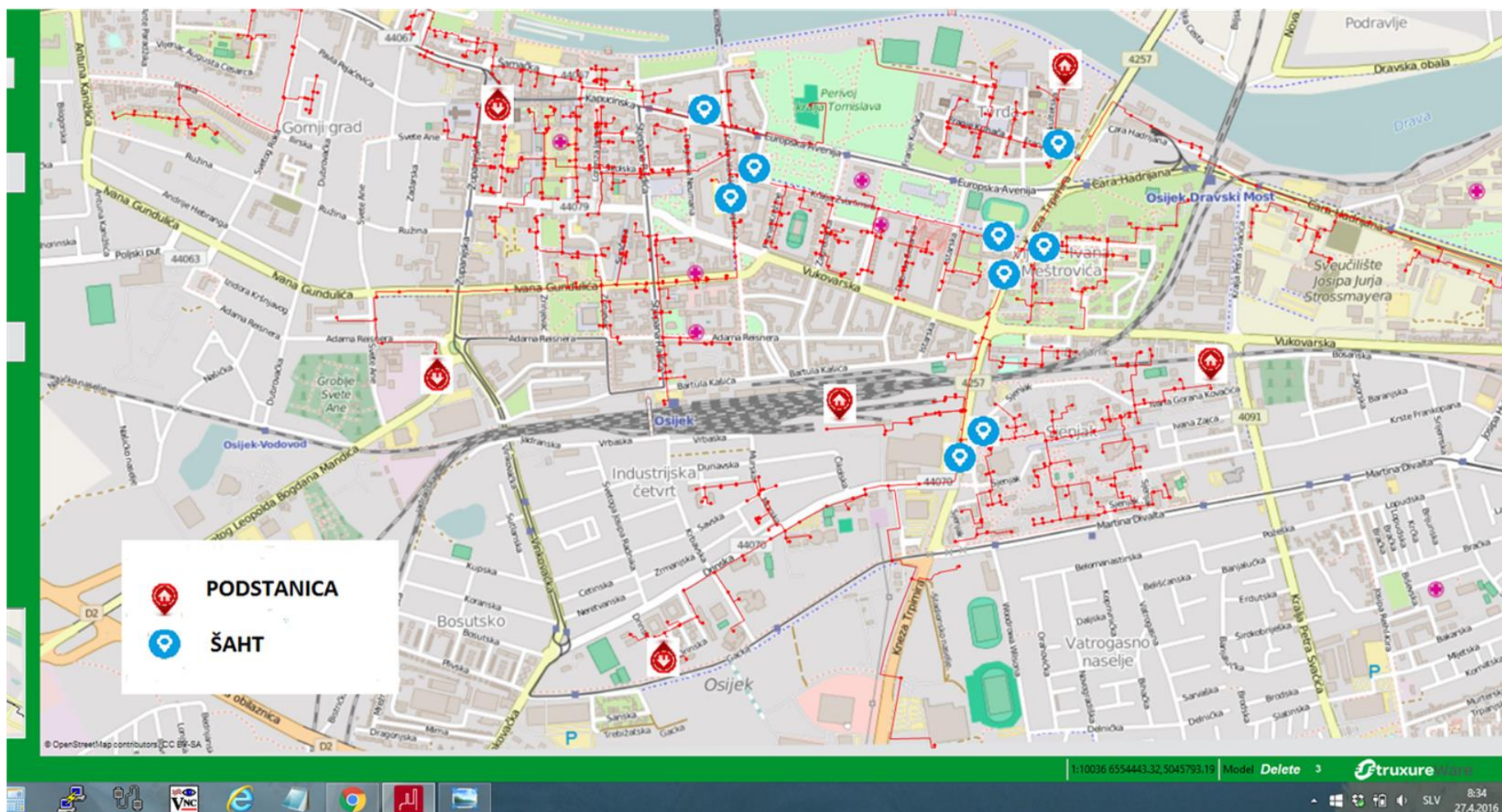
- optimalno upravljanje sustavom daljinskog grijanja,
- kontrolu gubitaka u sustavu,
- širenje toplinskog sustava izvan zona toplifikacije na područja niže gustoće potrošnje toplinske energije te
- prilagodbu regulativi Republike Hrvatske i Europske unije.

U Pogonu Osijek je u 2015. godini započela implementacija programskog paketa za optimiziranje *Termis*, čija struktura je prikazana na Slici 7.6., koji ulazne podatke o sustavu koristi iz *GIS* i *SCADA* sustava [69].



Slika 7.6. Struktura sustava za optimiziranje daljinskog grijanja [69]

S odabranih kontrolnih mjesta u vrelodnoj mreži, prikazanoj na Slici 7.7., podaci se putem sustava *SCADA* šalju centru za upravljanje distribucijskog sustava. Podaci se prenose u module koji u realnom vremenu omogućuju optimiziranje temperatura u toplinskoj mreži, rada glavnih optočnih crpki i proizvodnih izvora sustava daljinskog grijanja. Optimiziranje temperatura rezultira smanjenjem toplinskih gubitaka (onog dijela *WT* gubitaka) u mreži, podešavanjem i prilagođavanjem postojećeg temperaturnog režima novim optimiziranim



Slika 7.7. Shema vrelodvodne mreže s označenim mjestima ugrađene mjerne opreme za sustav optimiziranja

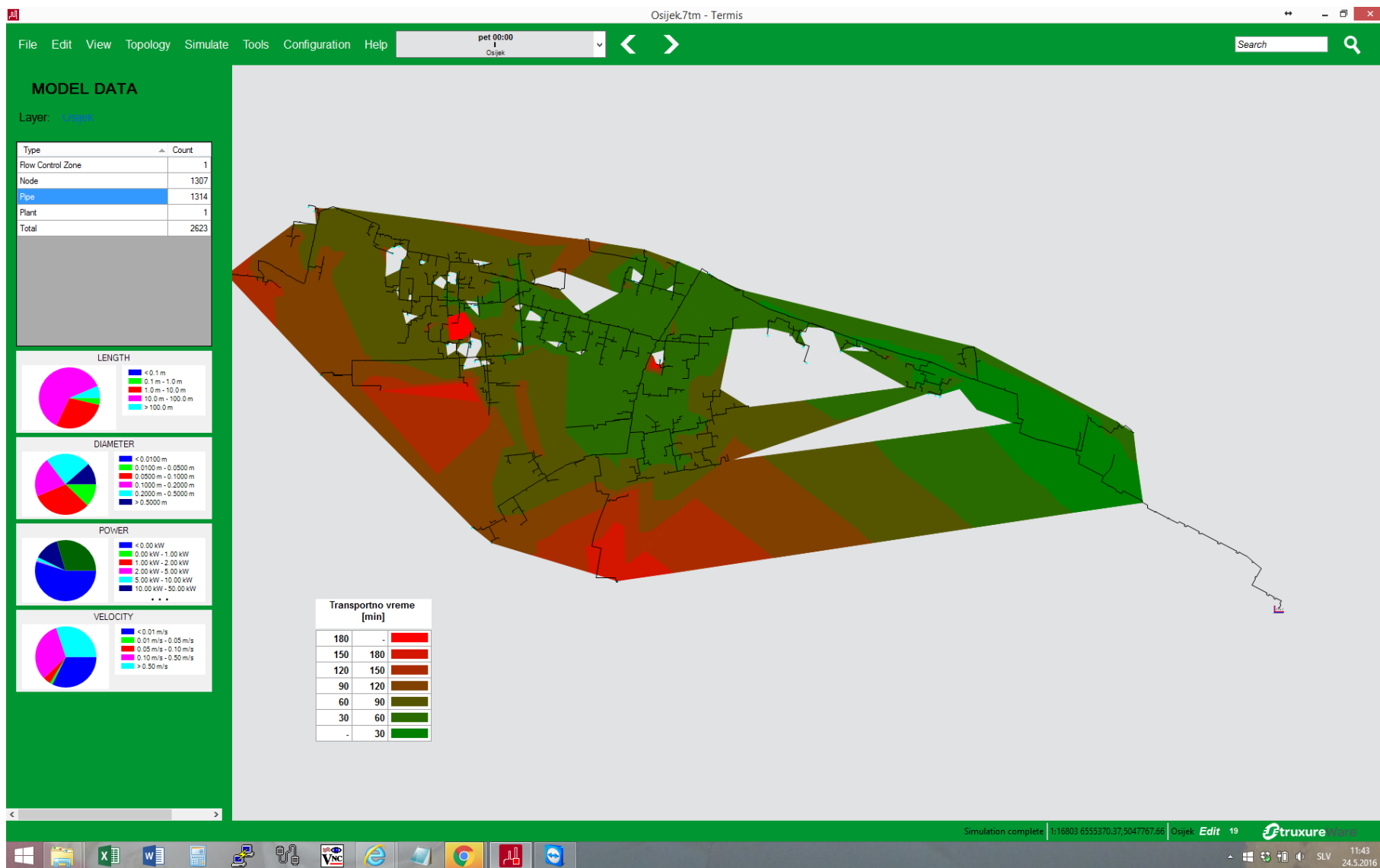
vrijednostima, uz zajamčenu opskrbu krajnjih kupaca toplinskom energijom odgovarajuće kvalitete. Optimiziranje rada cirkulacijskih crpki određuje način rada crpki u odgovarajućem vremenu uz uvjet minimalnog troška rada koji će osigurati cirkulaciju ogrjevnog medija u skladu s potrebama konzuma. Optimiziranjem proizvodnih izvora određuje se koje jedinice proizvođači toplinsku energiju u promatranom vremenu imaju najniže pogonske troškove.

U nastavku će biti opisane očekivane uštede toplinske i električne energije nakon optimiziranja temperatura i rada glavnih cirkulacijskih crpki u sustavu daljinskog grijanja u Osijeku.

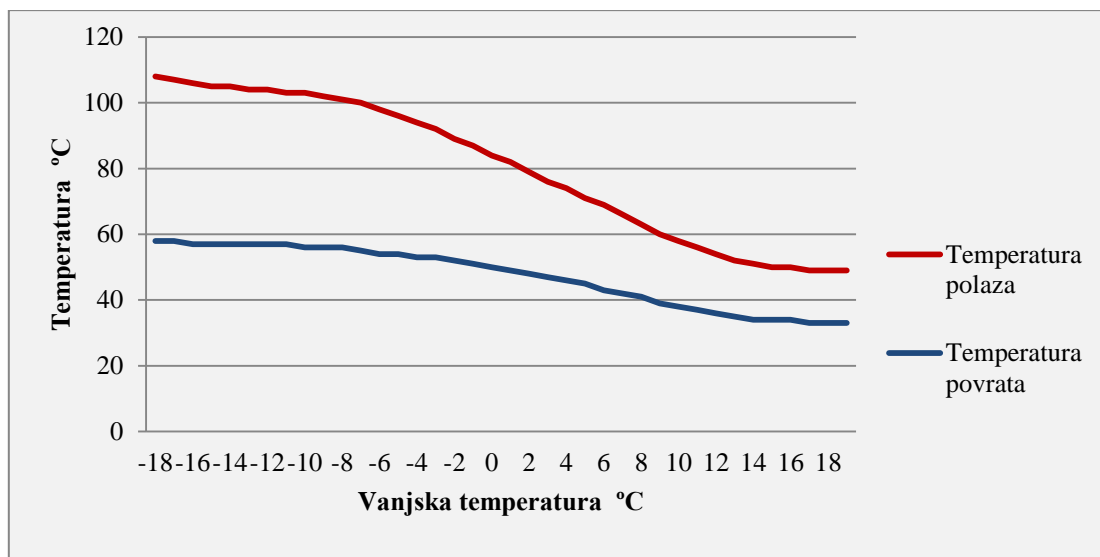
7.7.1. Optimiziranje temperaturnog režima vrelovodne mreže

Optimalna temperatura polaza vrelovodne mreže predstavlja onu minimalnu temperaturu ogrjevnog medija koja će u traženim uvjetima zadovoljiti potrebe za toplinskom energijom svih mjesta potrošnje na način da neće dolaziti do nepotrebnih pregrijavanja u distribucijskoj mreži i kod krajnjih kupaca. Preduvjeti za ovo su dobro poznavanje karakteristika potrošnje krajnjih, osobito većih potrošača, zatim dobre vremenske prognoze i podaci o transportnom vremenu potrebnom da ogrjevni medij dođe od praga proizvodnje do kontrolnih mjesta u mreži i do krajnjih potrošača (Slika 7.8.). Kontrola parametara ogrjevnog medija na kritičnim mjestima potrošnje treba pravovremeno upozoriti distributera o odstupanju temperature od zadanih i potrebnih vrijednosti, kako bi se u slučaju preniskih temperatura izbjegle pritužbe kupaca, odnosno u slučaju previsokih temperatura smanjili nepotrební toplinski gubici.

Prema postojećim Uputama za vođenje vrelovodnog sustava [70] primjenjuje se tzv. klizni temperaturni režim, prikazan na Slici 7.9., u kojem se temperature polaza mijenjaju ovisno o vanjskoj temperaturi i brzini vjetra. Na temelju stvarnih podataka o temperaturama polaza i povrata te protoka u vrelovodnoj mreži u 2015. godini, registriranih svakih 15 minuta, napravljena je analiza mogućih ušteda optimiziranjem polazne temperature ogrjevnog medija. Za maksimalno mogući volumni protok ogrjevnog medija kroz mrežu izračunava se najniži mogući temperaturni profil uz uvjet dovoljne isporuke potrebnih količina toplinske energije. Izračunati termički i hidraulički parametri uspoređuju se sa stvarnim vrijednostima na odabranim kontrolnim mjestima (oknima) u mreži i toplinskim podstanicama.



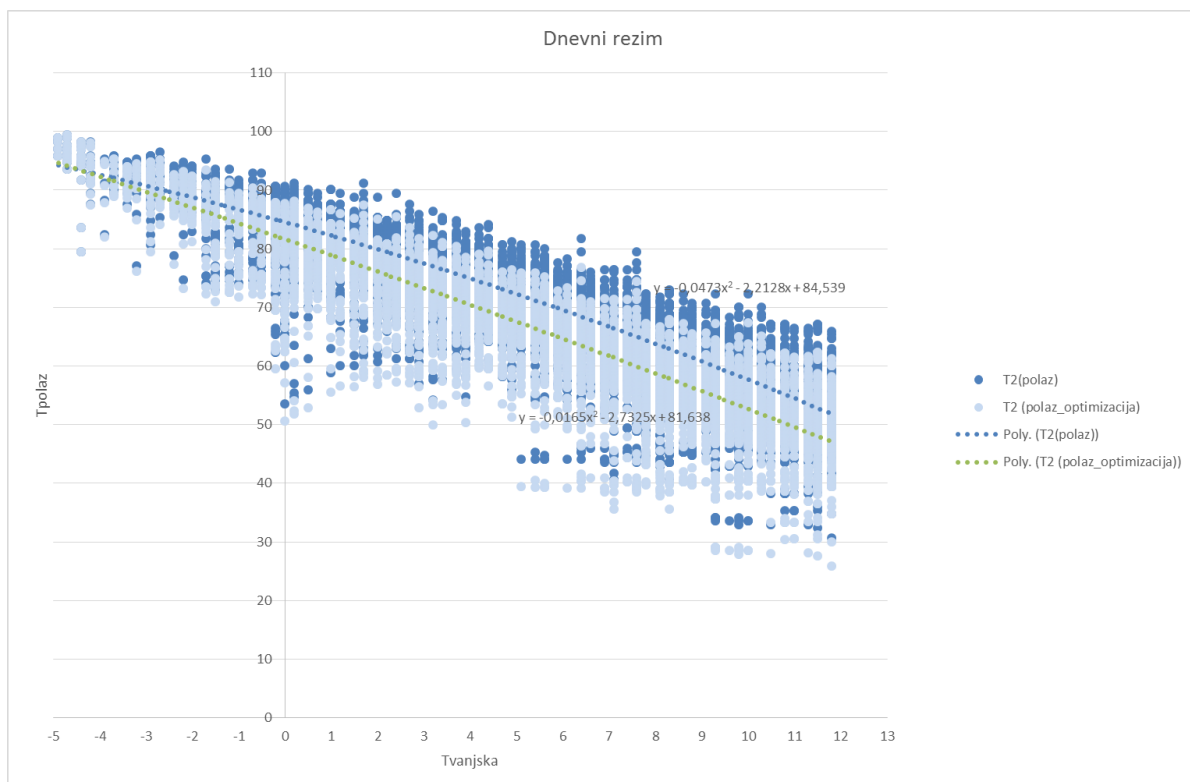
Slika 7.8. Prikaz transportnog vremena ogrjevnog medija u vrelodnoj mreži grada Osijeka



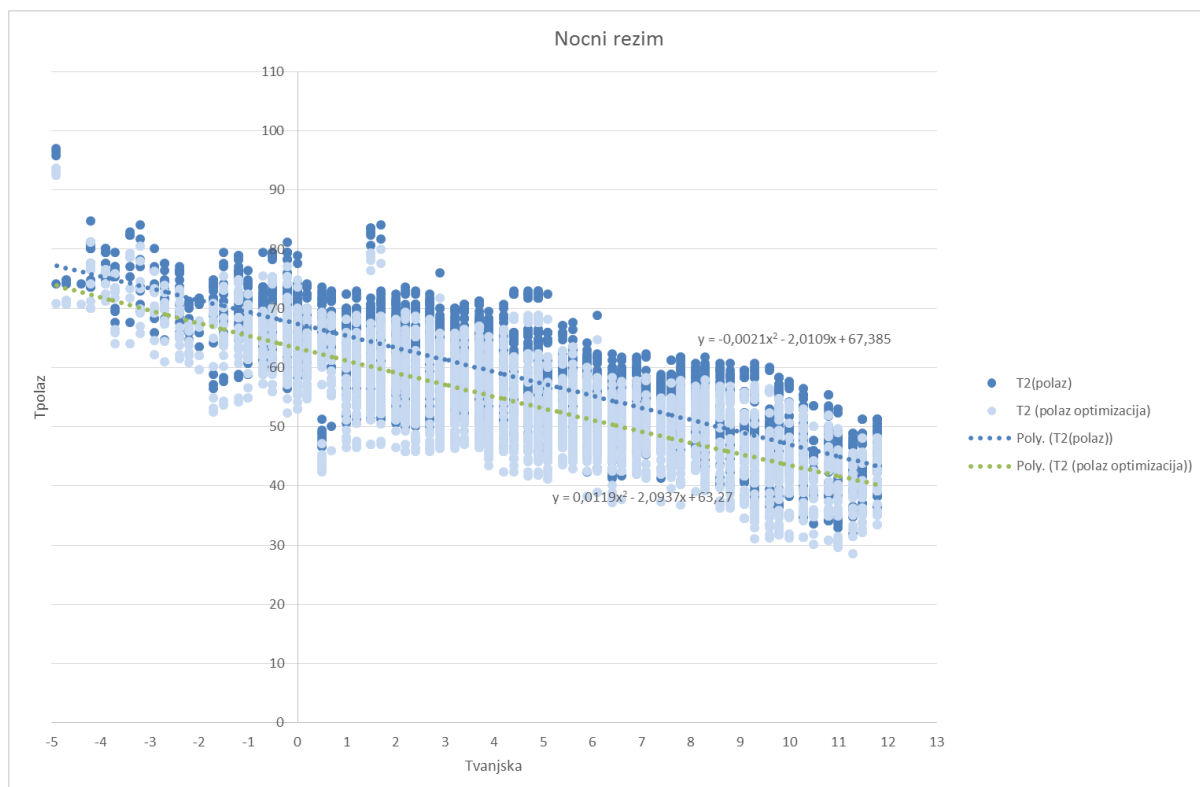
Slika 7.9. Temperaturni režim vrelovodne mreže prije optimiziranja

Optimiziranje je rezultiralo novim nižim temperaturnim režimom. Dijagrami starih i novih temperature polaza prikazani su za dnevni režim na Slici 7.10., a za noćni režim na Slici 7.11. U prikazanom rasponu vanjskih temperatura aproksimirane su temperaturne krivulje. U dijagramu za dnevni režim se vidi da kod vanjskih temperatura ispod -5°C nema prostora za optimiziranje. Posljedica je to postojećeg temperaturnog režima koji, kao što se vidi na Slici 7.9., u kojem temperature polaza kod vanjskih temperatura nižih od -5°C ne nastavljaju linearno rasti, kao u rasponu vanjskih temperatura između 12°C i -5°C , nego je taj rast puno blaži. Kao što se vidi iz dijagrama, kod vanjske projektne temperature za grad Osijek od -18°C temperatura polaza prije optimiziranja je bila 108°C , a povrata 58°C , dok su kod vanjskih temperatura iznad 14°C temperature polaza konstantne i iznose 50°C (u Osijeku nema pripreme PTV-a pa su moguće ovako niske temperature polaza).

U Prilogu 10.3. prikazan je izračun ušteda koje se postižu opisanim optimiziranjem temperatura polaza vrelovodne mreže. Uštede energije i troškova se postižu zbog smanjenja toplinskih gubitaka u distribuciji i smanjenja isporuke toplinske energije krajnjim kupcima (što zbog neodgovarajuće visine tarifne stavke za proizvodnju toplinske energije znači manji gubitak). Na temelju izračunatih ušteda u Tablici 7.7. prikazana je metrika optimiziranja temperaturnog režima (za početno stanje prije optimiziranja uzeti su podaci iz izvješća o poslovanju Pogona Osijek u 2015. godini [65]).



Slika 7.10. Temperatura polaza u ovisnosti o vanjskoj temperaturi prije i poslije optimiziranja
– dnevni režim



Slika 7.11. Temperatura polaza u ovisnosti o vanjskoj temperaturi prije i poslije optimiziranja
– noćni režim

Tablica 7.7. *Lean i green* metrika optimiziranja temperaturnog režima

Stavke		Stanje prije optimiziranja	Stanje poslije - ciljano	Stanje poslije - ostvareno	Uštede	Ciljane uštede, %	Ostvarene uštede, %
1	2	3	4	5	6 (3-5)	7	8(6/3)*100
Proizvedena energija	MWh/god	175.240	171.735	171.959	3.281	2,0	1,87
Isporučena energija VAT dio	MWh/god	161.815	158.579	159.064	2.751	2,0	1,70
Ukupni toplinski gubici	MWh/god	13.425	13.022	12.895	530	3,0	3,95
	%	7,67	7,52	7,50	0,17	2,0	2,22
Toplinski gubici WT dio	MWh/god	2.335	1.961	1.916	419	16,0	17,94
Toplinski gubici NVAT dio	MWh/god	11.090	11.061	10.979	111	0,3	1,00
Pripadajuća emisija CO ₂ za gubitke	t/god	3.420	3.317	3.285	135	3,0	3,95

Optimiziranjem temperaturnog režima snizit će se prosječne temperature polaza vrelovodne mreže za 4°C. Budući da termoregulacijski ventili u većini toplinskih podstanica nisu u funkciji, snizit će se i polazne temperature u unutarnjoj instalaciji grijanja, a time i temperature u prostorijama krajnjih kupaca (prema proračunu za 0,3°C). Iz ovoga proizlazi da se optimiziranjem temperatura polaza sprječava pregrijavanje u mreži i unutarnjoj instalaciji grijanja kod krajnjih kupaca. Ovaj dio gubitaka toplinske energije zbog pregrijavanja predstavlja čisti gubitak i prije optimiziranja prikazan je u WT dijelu, u kojem su još sadržani i gubici zbog zagrijavanja dodatnih količina ogrjevnog medija za nadopunu mreže (22.906 m³ u 2015. godini). U prikazu poslije optimiziranja nema gubitaka zbog pregrijavanja, tako da:

- VAT dio predstavlja stvarno isporučenu toplinsku energiju krajnjim kupcima, uz neznatno smanjenje temperatura u prostorijama koje neće narušiti postojeću ugodu boravka u tim prostorima
- NVAT dio sadrži gubitke zbog razlike temperatura ogrjevnog medija i okoline, koji su, u odnosu na stanje prije optimiziranja, manji jer su prosječne temperature polaza niže
- WT dio prikazuje samo toplinske gubitke zbog nadopune koji su manji nego prije optimiziranja jer nema dijela gubitaka zbog pregrijavanja.

Optimiziranjem temperaturnog režima smanjuju se toplinski gubici u distribuciji za oko 4% (530 MWh/godišnje). Snižavanjem temperatura u prostorijama za 0,3°C smanjit će se i VAT dio toplinske energije koji se isporučuje krajnjim kupcima za 1,7%. To znači i približno toliko manju proizvodnju, što zbog neodgovarajuće visine tarifne stavke za proizvodnju toplinske energije znači proizvođaču manji gubitak u poslovanju. Smanjenje toplinskih

gubitaka u distribuciji rezultira i nižom emisijom CO₂, također za oko 4%, zbog manje potrošnje primarne energije potrebne za proizvodnju dijela toplinske energije koja služi za pokrivanje gubitaka u mreži.

Bitno je napomenuti da nakon primjene novog nižeg temperaturnog režima nije bilo prigovora od strane krajnjih kupaca zbog slabijeg grijanja tj. nižih temperatura u njihovim prostorima.

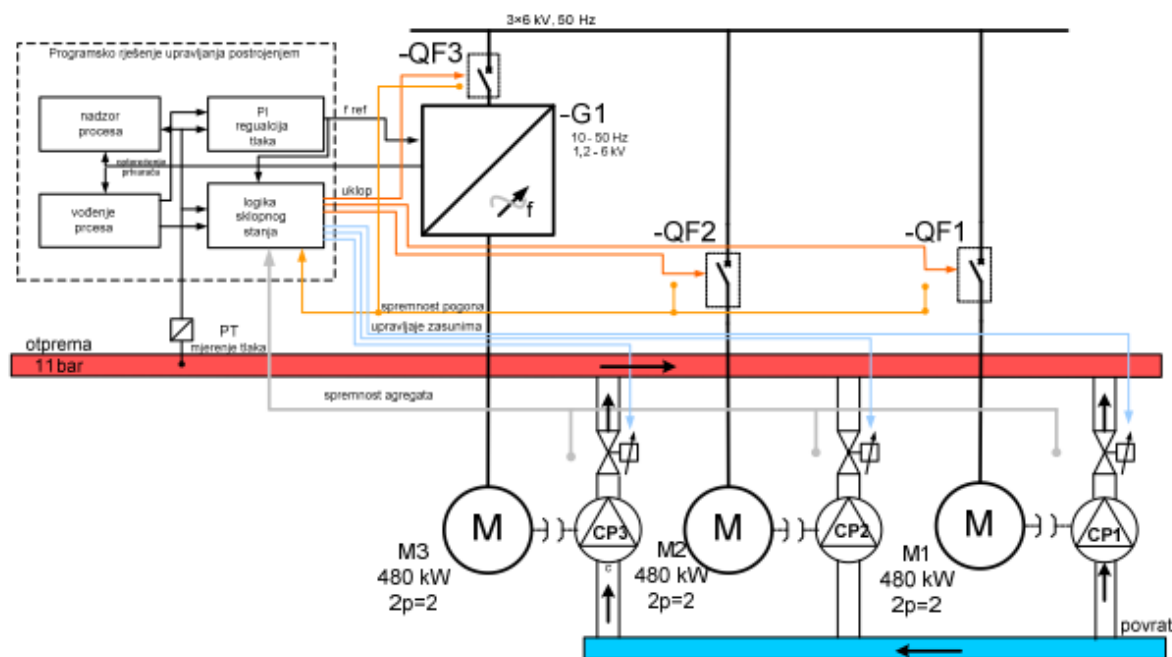
7.7.2. Optimiziranje rada glavnih cirkulacijskih crpki u vrelovodnoj mreži

Cirkulacijske crpke podižu tlak ogrjevnog medija kako bi se omogućio protok kroz mrežu, od mjesta gdje se proizvodi toplinska energija do toplinskih podstanica gdje se predaje krajnjim potrošačima. Kako bi se smanjili *NVAT* gubici zbog nepotrebnih troškova transporta ogrjevnog medija potrebno je, uz temperaturni režim, optimizirati i rad glavnih cirkulacijskih crpki vrelovodne mreže, kako bi se ostvarili minimalni troškovi njihovog rada. Na osnovu realnih podataka o stanju mreže (s kontrolnih mjesta u mreži i podstanica) proračunavaju se potrebni parametri pogona crpki. Stoga se i optimiziranjem rada crpki može promatrati kao *Poka-Yoke* tehnika kojom se postiže da pogon crpki u zadanom vremenu bude takav da su *NVAT* gubici transporta u mreži minimalni.

U modulu za ekonomično upravljanje crpkama uzimaju se u obzir granični uvjeti (tlak, diferencijalni tlak, protok i temperature) vezani za troškove električne energije za pogon crpki. Modul omogućuje proračun najjeftinije mogućnosti rada crpki i nove proračunate postavke šalje *SCADA* sustavu odakle se upravlja crpkama. Za ovakvo upravljanje nužno je da elektromotorni pogoni crpki budu regulirani. U [71] je prikazano kako ugradnja frekvencijske regulacije na jedan od elektromotora glavnih cirkulacijskih crpki u TE-TO Osijek utječe na smanjenje potrošnje električne energije za pogon crpki.

Na lokaciji TE-TO Osijek smještene su tri glavne cirkulacijske crpke, a u staroj Toplani su tri booster crpke. U uobičajenom pogonu vrelovodne mreže rade dvije glavne crpke te jedna booster crpka, a ostale crpke su u pričuvi. Prije ugradnje frekvencijske regulacije elektromotorni pogoni glavnih cirkulacijskih crpki nisu imali mogućnosti regulacije brzine vrtnje, a vrijednosti tlaka na polazu vrelovoda su se mijenjale otvaranjem i prigušivanjem tlačnih zasuna iza crpki (Slika 7.12.). Crpka CP1 radi s približno nazivnim

opterećenjem, uvijek je u pogonu i njezin tlačni zasun je potpuno otvoren. Jedna od dvije preostale crpke, CP2 ili CP3, također je u pogonu, dodaje potrebnu količinu ogrjevnog medija i podiže tlak do potrebnih vrijednosti (oko 11 bar pretlaka), dok je druga crpka u pričuvi. Ova pumpa je obično opterećena 60% do 70% nazivnog tereta, otvorenost njenog tlačnog zasuna se podešava prema uvjetima u mreži. Pretvarač frekvencije dograđen je na crpku CP3, čija zadaća je održavati zadani tlak na polazu vrelovoda.



Slika 7.12. Cirkulacijske crpke sa sustavom regulacije tlaka promjenom brzine vrtnje motora pretvaračem frekvencije [71]

Uštede električne energije za pogon glavnih cirkulacijskih crpki izračunate su na temelju podataka iz arhive TE-TO Osijek za sezone grijanja prije i nakon ugradnje frekvencijske regulacije, te raspoloživih tehničkih podataka o crpkama i motorima.

U Tablici 7.8. su prikazane uštede u potrošnji električne energije za pogon glavnih cirkulacijskih crpki (smanjenje *NVAT* dijela *lean* gubitka transporta ogrjevnog medija), i odgovarajuće smanjenje *green* gubitka emisija dimnih plinova zbog manje potrošnje goriva za proizvodnju električne energije potrebne za pogon elektromotora crpki. Uzimajući u obzir uštede u troškovima plina (zbog manje potrošnje tj. proizvodnje električne energije) i uštede zbog manjih emisija CO₂, pojednostavljeno vrijeme povratka investicije je oko 3 godine, što pokazuje opravdanost ove investicije [71].

Tablica 7.8. *Lean i green* metrika optimiziranja rada glavnih cirkulacijskih crpki

Stavke		Stanje prije optimiziranja	Stanje poslije - ciljano	Stanje poslije - ostvareno	Uštede	Ciljane uštede, %	Ostvarene uštede, %
1	2	3	4	5	6 (3-5)	7	8(6/3)*100
Električna energija za pogon glavnih cirkulacijskih crpki (NVAT gubici)	MWh/god	4.586	3.898	3.815	771	15,00	16,81
Emisija CO₂ za proizvodnju električne energije za pogon crpki	t/god	4.770	4.055	3.968	802	15,00	16,81

Uvođenjem reguliranog pogona na jedan od agregata glavnih crpki postignuto je:

- poboljšanje tehnološkog procesa upravljanjem brzinom vrtnje umjesto otvaranja i prigušivanja tlačnih zasuna kako bi se održavao zadani tlak na polazu vrelovoda
- poboljšanje i pojednostavljenje zaštite mreže i motora od stresnih stanja pokretanja i zaustavljanja pogona (u pretvaraču frekvencije su integrirane i električke zaštite motora od kratkog spoja, preopterećenja, ispada jedne faze i dr.)
- znatne uštede električne energije jer su crpke u radu čitavu sezonu grijanja te
- rasterećenje pogonskog osoblja u poslovima ručnog upravljanja tlačnim zasunima.

Protok ogrjevnog medija u mreži je gotovo konstantan tijekom dnevnog i noćnog režima, jer u većini podstanica prolazni termoregulacijski ventili nisu u funkciji jer suvlasnici zgrada to ne žele. No, zasigurno će se povećanjem i uspostavljanjem tržišnih cijena toplinske energije, ugradnjom razdjelnika i zasebnih mjerila toplinske energije i ova situacija promijeniti, tako da je za očekivati da će se termoregulacijski ventili staviti u funkciju. Tada će i uštede u transportu zasigurno biti veće, jer će to značiti i smanjenje protoka u dnevnom i noćnom režimu rada, što će dodatno smanjiti potrošnju električne energije za pogon glavnih cirkulacijskih i booster crpki, koje u ovom razmatranju nisu uzete u obzir jer se njihova brzina vrtnje regulira hidrauličkom Voith spojkom od kada su crpke u pogonu.

7.8. Poboljšanje kvalitete korektivnog održavanja

Plan održavanja distribucijskih toplinskih postrojenja obuhvaća preventivno održavanje, remonte i korektivno održavanje. Najznačajnije aktivnosti su: pregledi i ispitivanja postrojenja u skladu s važećom zakonskom i podzakonskom regulativom, godišnji remont parovodne i vrelovodne mreže, hitne intervencije zbog puknuća cjevovoda i dr.

Navedene aktivnosti se redovito obavljaju i nužne su kako bi eksploatacija postrojenja bila sigurna i uspješna.

7.8.1. Opis problema puknuća i propuštanja cjevovoda

Puknuća i propuštanja cjevovoda u toplinskim mrežama su čest problem, osobito kod većih toplinskih sustava u kojima je prosječna starost cjevovoda iznad očekivanog vijeka trajanja. Posljedice puknuća su: maseni i toplinski gubici ogrjevnog medija, prekid u opskrbi potrošača toplinskom energijom, moguće štete na toplinskim i drugim instalacijama energetske i komunalne infrastrukture, štete u podrumskim prostorima stambenih i poslovnih zgrada te trošak popravka i otklanjanja kvara. Broj i učestalost puknuća cjevovoda ovisi od starosti mreže, kvalitete ugrađenih cijevi i opreme, kvalitete izvedenih strojarskih, građevinskih i elektro radova na montaži cjevovoda, načina polaganja cjevovoda, okruženja kojim trasa vrelovoda prolazi, projektnih rješenja (kompenzacija toplinskih dilatacija, odabir debljine stjenke cijevi i dr.), kvalitete kemijske pripreme vode tj. ogrjevnog medija, antikorozivne zaštite cjevovoda i oslonaca, kvalitete toplinske izolacije, hidroizolacije armirano betonskog kanala kod cjevovoda koji su položeni na tzv. klasičan način (čelični cjevovod toplinski izoliran i položen na osloncima u armirano betonskom kanalu), kvalitete predizolacije i izvedenih spojnih mjesta kod predizoliranih cjevovoda i dr.

Puknuća vrelovodne mreže (Slika 7.13.) najčešće se događaju na mjestima:

- prolaza cjevovoda ispod prometnica
- kompenzacije toplinskih dilatacija (prirodne kompenzacije U lire, L i Z krakovi te kompenzatori)
- spoju priključaka i magistralnih vodova gdje kompenzacije nisu dobro riješene,
- prodora oborinskih voda kroz poklopce armirano betonskih kanala (nema hidroizolacije, poklopci nisu dobro zamazani mortom)
- prodora vode iz vodovodne mreže i sustava oborinske odvodnje u armirano betonski kanal
- prodora podzemnih voda
- pojave lutajućih struja (u blizini tramvajske pruge i elektro instalacija)
- hidrauličkog udara i dr.



Slika 7.13. Propuštanja cjevovoda

Kod puknuća cjevovoda distributer toplinske energije poduzima aktivnosti na pronalaženju mjesta kvara što, osobito kod dijelova većih toplinskih mreža koje su građene na klasičan način i nemaju ugrađen sustav za detekciju vlage, može duže trajati. Po utvrđivanju dionice cjevovoda na kojoj je došlo do kvara i lociranju točnog mjesta kvara donosi se odluka o načinu popravka, ovisno od promjera i stanja cijevi:

- popraviti će se cjevovod samo na mjestu propuštanja
- zamijenit će se dio cjevovoda ako se utvrdi da je u lošem stanju oko mjesta propuštanja
- odgađa se popravak ako propuštanje nije veliko i ako je na nezgodnom mjestu, tako da bi zahtijevalo dulji popravak i prekid u opskrbi većeg broja potrošača pri nižim vanjskim temperaturama (radovi se izvode u sklopu planiranih radova ili kada su povoljnije vremenske prilike tijekom noćnih sati).

Potrebno je dobro procijeniti karakter kvara i način njegova popravka, vodeći se najznačajnijim kriterijima, troškovima i sigurnosti opskrbe kupaca toplinskom energijom.

Prosječna nadopuna u sustavu ovisi o starosti mreže i jedan je od značajnijih pokazatelja stanja mreže. Značajan dio toplinske mreže predstavlja sustav za nadopunu i održavanje tlaka u mreži, čija zadaća je kontinuirana nadopuna ogrjevnog medija koji se izgubi te održavanje zadanih vrijednosti tlaka u sustavu u svim pogonskim stanjima. Brojila registriraju nadopunu ogrjevnog medija u vrelovodnoj mreži tako da, u slučaju puknuća cjevovoda i većeg propuštanja, dolazi do porasta nadopune što je znak distributeru za pokretanje potrebnih aktivnosti za pronalazak mjesta kvara. Potrebno je kapacitet sustava za nadopunu dimenzionirati tako da bude veći od prosječnih vrijednosti nadopune kako bi se sustav mogao održati u pogonskom stanju i pri većim propuštanjima osigurati dovoljne količine kemijski pripremljene vode.

7.8.2. Uzroci propuštanja cjevovoda

Cjevovodi vrelovodne mreže koji su položeni na klasičan način se projektiraju i dimenzioniraju da izdrže naprezanja koja se mogu pojaviti tijekom eksploatacije uslijed:

- toplinskih dilatacija (temperaturna naprezanja)
- maksimalnog radnog tlaka
- hidrauličkog udara
- težine cjevovoda (cijev, toplinska izolacija i ogrjevni medij) i
- prednaprezanja.

Materijal i debljina stijenke cijevi se odabiru tako da mogu podnijeti sva ova naprezanja uz određeni faktor sigurnosti. Ponekad do puknuća cjevovoda položenih na klasičan način dolazi uslijed dotrajalosti i popuštanja oslonaca (kliznih i čvrstih) koji imaju zadaću nositi težinu cjevovoda, omogućiti pomak cjevovoda uslijed toplinskih dilatacija te prihvatiti i izdržati naprezanja koja se u cjevovodu pojavljuju i prenose na oslonce.

Najčešći uzrok propuštanja cjevovoda je korozija cjevovoda s vanjske strane, rjeđe se radi o koroziji s unutarnje strane stijenke cijevi, jer uglavnom kvaliteta ogrjevnog medija odgovara zahtijevanim vrijednostima. Danas su razvijene brojne metode za stalni nadzor kvalitete kemijski pripremljene vode tako da se, u slučaju mogućih odstupanja, vrlo brzo

može djelovati i parametre držati u granicama dopuštenih vrijednosti, te na taj način mogućnost korozije s unutarnje strane stjenke cijevi svesti na minimum.

Kod polaganja predizoliranih cijevi s ugrađenim sustavom za detekciju vlage postoji mogućnost stalnog nadzora cjevovoda. Kod cjevovoda položenih na klasičan način, koji čine većinu vrelovodnih mreža u gradovima RH, ugradnja sustava za detekciju bi bila preskupa, nego će se jednostavno s vremenom ovi cjevovodi zamijeniti novim predizoliranim, a do tada će svaki distributer toplinske energije primjenjivati neku svoju iskustvenu metodu za otkrivanje lokacije puknuća cjevovoda položenog na klasičan način.

7.8.3. Hitne intervencije zbog puknuća cjevovoda

Prateći podatke o hitnim intervencijama kroz godine revitalizacije mreže, u razdoblju od 2007. do 2014. godine, prikazane u Tablici 7.9., primjetno je značajno smanjenje gubitaka ogrjevnog medija i neisporučene toplinske energije zbog propuštanja cjevovoda.

Tablica 7.9. Podaci o hitnim intervencijama

Godina	Broj int.	Troškovi intervencija		Gubici ogrjevnog medija		Neisporučena toplinska energija		Vrijeme trajanja intervencije	
		ukupni kn	prosjeck kn/int.	Ukupni m ³	prosjeck m ³ /int.	Ukupno MWh	prosjeck MWh/int.	Ukupno h	prosjeck h/int.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2007.	15	153.152,77	10.210,18	582	38,80	80,80	5,39	400,65	26,71
2008.	12	135.189,36	11.265,78	663	55,25	1.087,95	90,66	387,12	32,26
2009.	13	134.796,79	10.368,98	676	52,00	66,34	5,10	434,00	34,64
2010.	9	425.285,38	47.253,93	1.205	133,89	1.786,27	198,47	450,32	55,63
2011.	13	462.694,35	35.591,87	855	65,77	4.236,04	325,85	436,28	33,56
2012.	9	83.988,58	9.332,06	549	61,00	218,22	24,25	273,96	30,44
2013.	8	172.656,38	21.582,05	552	69,00	476,12	59,52	373,44	46,68
2014.	12	403.401,00	33.616,75	388	32,33	43,34	3,61	464,64	38,72
Prosjeck	11,37	246.395,58	22.402,70	683,75	63,51	999,39	89,11	424,33	37,32

Pokazatelj je to da su dionice mreže za zamjenu dobro odabrane. Troškove intervencija treba uzeti s rezervom, budući da ponekad ne prikazuju stvarnu sliku, jer se iz plana održavanja (u nedostatku sredstava u planu investicija) znaju obavljati zamjene vrelovodnih priključaka i raspleta na kojima je došlo do puknuća, a utvrdi se da je nužna zamjena i da radove treba izvesti što prije.

Hitna intervencija, kao dio korektivnog održavanja, promatra se kao *lean* proces sastavljen od:

- NVAT aktivnosti (pripremno-završni radovi: pronalazak mjesta propuštanja cjevovoda, zatvaranje i pražnjenje mreže, punjenje mreže nakon popravka cjevovoda i puštanje grijanja)
- VAT aktivnosti (građevinski i strojarski radovi na popravku i otklanjanju kvara)
- WT aktivnosti (čekanje na dolazak izvođača, čekanje do 22 sata, čekanje zbog propuštanja armature pa se mora zatvoriti i isprazniti veći dio mreže).

U Tablici 7.10. se nalaze podaci o trajanju pojedinih faza radova na hitnim intervencijama.

Tablica 7.10. Podaci o trajanju hitnih intervencija

Godina	Prosječno vrijeme trajanja hitne intervencije, h/intervenciji										
	pronalazak lokacije curenja		zatvaranje i pražnjenje mreže		građevinski i strojarski radovi		punjenje mreže i puštanje grijanja	izolaterski radovi i sanacija javne površine	ukupno		
	WT	NVAT	WT	NVAT	WT	VAT	NVAT	VAT	WT	NVAT	VAT
2007.	0,29	3,87	0,00	2,73	0,21	10,47	2,67	6,47	0,50	9,27	16,94
2008.	0,51	5,67	0,00	3,42	0,82	11,17	2,92	7,75	1,33	12,01	18,92
2009.	0,29	4,62	0,00	3,31	0,96	13,62	3,15	8,69	1,25	11,08	22,31
2010.	0,24	9,44	2,15	6,22	0,80	14,56	5,44	16,78	3,19	21,10	31,34
2011.	0,27	4,54	0,00	3,31	1,21	12,31	2,54	9,38	1,48	10,39	21,69
2012.	0,25	5,78	0,00	3,78	1,30	10,44	2,67	6,22	1,55	12,23	16,66
2013.	0,67	4,63	2,15	6,13	0,85	16,75	4,50	11,00	3,67	15,26	27,75
2014.	0,28	4,75	0,00	3,50	0,94	17,33	2,92	9,00	1,22	11,17	26,33
Prosjek	0,35	5,41	0,54	4,05	0,89	13,33	3,35	9,41	1,77	12,81	22,74

Primjenjujući *TPM*, kao jedan od *lean* alata, može se poboljšati ovaj dio korektivnog održavanja vrelvodne mreže koji se odnosi na izvođenje hitnih intervencija u slučaju puknuća cjevovoda, i tako smanjiti *lean* gubitak škarta. *TPM* pozornost najviše usmjerava na proaktivno i preventivno održavanje, što u konačnici pridonosi i poboljšanju aktivnosti korektivnog održavanja. Usporede li se vremena trajanja ovih aktivnosti uočiti će se da pripremno-završne aktivnosti (*NVAT*) traju skoro koliko i sami radovi (građevinski i strojarski) na otklanjanju kvara (*VAT*). Razmotrit će se *WT* i *NVAT* aktivnosti, vidjeti gdje postoji prostor za skraćivanje trajanja pojedinih aktivnosti kako bi se hitna intervencija što prije obavila i tako smanjili čisti gubici, iskazani kroz gubitak ogrjevnog medija i neisporučene toplinske energije.

Ispitivanje pojedinih dijelova mreže, kako bi se odredila dionica na kojoj je došlo do puknuća cjevovoda, može se značajno skratiti postavljanjem u glavne grane mreže mjerne

opreme (za protok, tlak i temperaturu) koja će biti povezana sa sustavom za upravljanje i vođenje vrelovodne mreže. Zatvaranje i pražnjenje mreže može se također skratiti:

- ugradnjom armature s motornim pogonom (iznad NO 200) i
- povećanjem dimenzije cjevovoda i armature za ispust u oknima magistralnih vodova kako bi se ubrzalo pražnjenje mreže.

Redovitim preventivnim održavanjem (pregledima i ispitivanjima) i remontima armature moguće je smanjiti gubitak zbog propuštanja armature, u slučajevima kada se mora zatvoriti veći dio mreže kako bi se zaustavio dotok medija i ispraznila dionica na kojoj je kvar.

Korištenje sustava za upravljanje poslovima održavanja (SUPO program), koji sadrži brojne module (radna snaga, dobavljači i izvođači, objekti održavanja, pričuvni dijelovi i materijali, zadaci, zahtjevi za rad – prijava kvara, radni nalozi, upiti za ponudu, zahtjevi za nabavu, narudžbe, proračuni, izvješća i grafovi, statistički predvidivo održavanje, pravila za siguran rad, dokumenti za zaštitu na radu i zaštitu od požara), olakšava i doprinosi urednom vođenju evidencije o svim poslovima održavanja na svakom dijelu toplinskog postrojenja. Pruža se mogućnost unošenja propisanih intervala za održavanje pojedine opreme, upisa komentara po izvršenju radnog naloga o sadržaju obavljenih radova, unosa fotografija i drugih bitnih dokumenata koji kasnije mogu poslužiti za kvalitetnije održavanje. Toplinska mreža je digitalizirana, svaki dio postrojenja ima svoju oznaku tako da je moguće pratiti pojedine dionice i vidjeti koliko je bilo intervencija, zašto je došlo do puknuća (za otkrivanje i analizu uzroka koristi se *lean* alat *5 Whys*, prikazan na Slici 4.10.), koji su sve poslovi održavanja na njoj obavljeni te na temelju toga ispitati stanje i opravdanost popravka ili zamjene dionice. Aplikaciju SUPO je potrebno doraditi i dopuniti tako da se omogući unošenje potrebnih podataka o karakteru i trajanju pojedinih aktivnosti u procesima kako bi se mogle pratiti *WT* i *NVAT* aktivnosti te poboljšanje procesa.

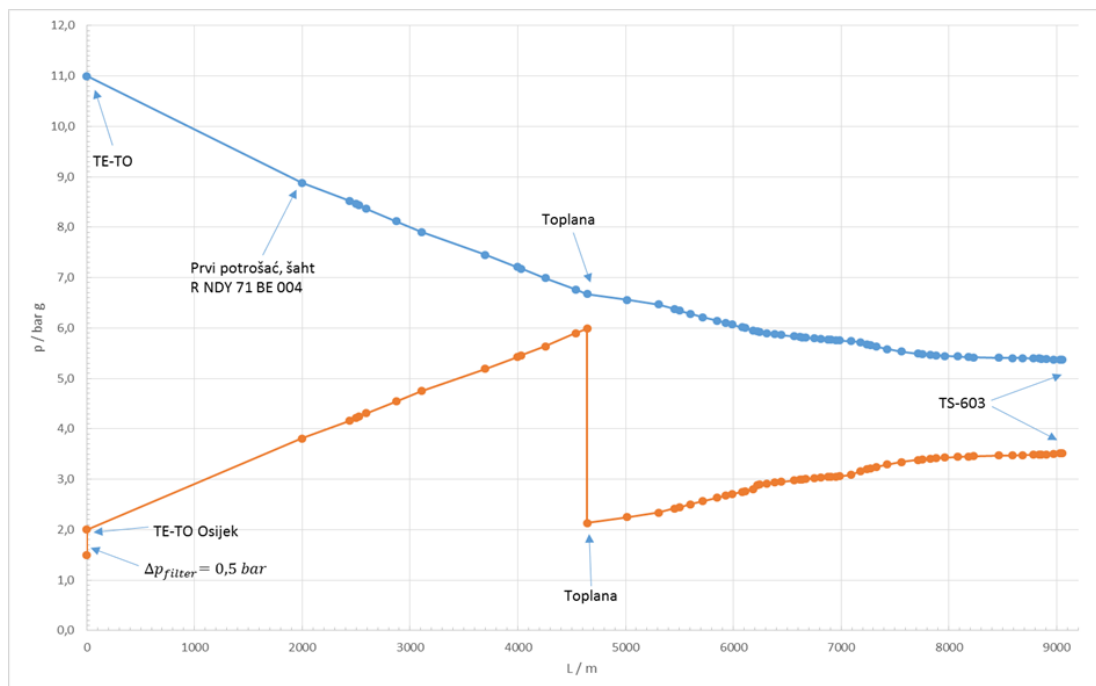
Primjenom ovih mjera, uz stručne i osposobljene radnike na održavanju, moguće je poboljšati proces hitnih intervencija, kao što je prikazano u Tablici 7.11., povećati efikasnost procesa (VAT/Tuk) sa 60,9% na 72%, te smanjiti gubitke medija i topline tijekom hitne intervencije za 48,3%. Budući da se gotovo sva puknuća događaju na cjevovodu koji je izgrađen na klasičan način, ovdje se nisu razmatrale predizolirane cijevi koje imaju ugrađen sustav za detekciju vlage što će, jednog dana kada sva mreža bude izgrađena od predizoliranih cijevi, umnogome olakšati pronalazak mjesta propuštanja cjevovoda.

Tablica 7.11. Analiza vremena trajanja pojedinih aktivnosti u procesu hitnih intervencija

Aktivnost		Vrijeme trajanja aktivnosti, h							
		Prije poboljšanja				Poslije poboljšanja			
		WT	NVAT	VAT	Ukupno	WT	NVAT	VAT	Ukupno
Pronalazak lokacije puknuća cjevovoda		0,35	5,41	-	5,76	0,10	2,0	-	2,1
Zatvaranje i pražnjenje mreže		0,54	4,05	-	4,59	0,25	3,0	-	3,25
Izvođenje građevinskih i strojarških radova na otklanjanju kvara		0,89	-	13,33	14,22	0,5	-	13,33	13,83
Punjenje dijela mreže i puštanje grijanja nakon sanacije puknuća			3,35	-	3,35	-	3,0	-	3,0
Izolaterski radovi i sanacija javne površine		-	-	9,41	9,41	-	-	9,41	9,41
UKUPNO:	h	1,77	12,81	22,74	37,32	0,85	8,0	22,74	31,59
	%	4,8	34,3	60,9	100,0	2,7	25,3	72,0	100,0

7.9. Zamjena spojnog vrelovoda

U cilju optimiziranja transporta ogrjevnog medija prikazat će se primjena *lean* alata *Analiza "uskog grla"* u vrelovodnoj mreži na primjeru postojećeg spojnog vrelovoda NO 550 između TE-TO Osijek i stare Toplane, duljine oko 4,5 km. Ukupni pad tlaka u vrelovodnom sustavu, uključujući i toplinske podstanice te glavnu vrelovodnu stanicu u TE-TO Osijek, iznosi oko 13,5 bar, od čega na spojni vrelovod (polaz i povrat) otpada oko 8 bar (Slika 7.14.).

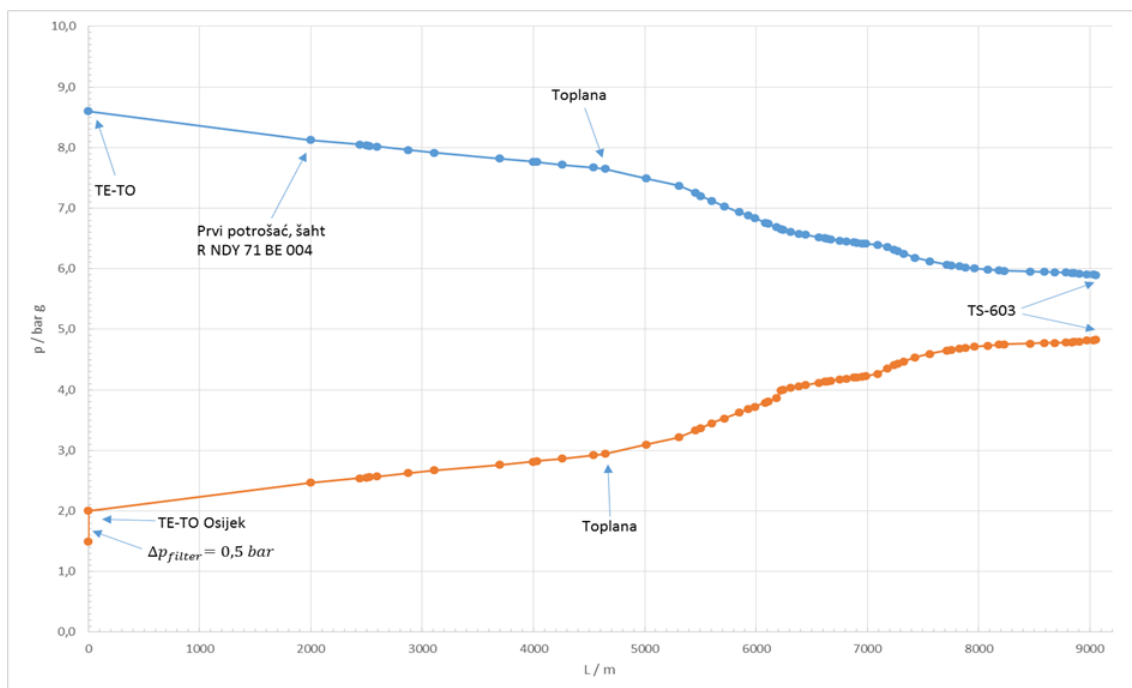


Slika 7.14. Grafički prikaz rezultata hidrauličkog proračuna postojećeg stanja vrelovodne mreže - spojni vrelovod NO 550 [72]

Na spojnom vrelovodu priključeno je oko 10-ak % ukupnog ogrjevnog konzuma preko toplinskih podstanica indirektnog tipa, a ostatak konzuma priključen je na mreži zapadno od stare Toplane gdje su podstanice pretežito direktnog tipa (zadnjih 10-ak godina ugrađuju se isključivo indirektne kompakt podstanice). U direktnim podstanicama se tlak ogrjevnog medija iz mreže reducira na maksimalno dozvoljeni tlak u unutarnjim instalacijama grijanja u zgradama (6 bar). To znači da je u povratu vrelovodne mreže raspoloživa razlika tlaka dovoljna da se ogrjevni medij kroz povratni vod vrati do lokacije stare Toplane, gdje su u povratu ugrađene booster crpke koje podižu tlak kako bi se omogućila cirkulacija medija do glavnih cirkulacijskih crpki na lokaciji TE-TO Osijek. Iz navedenog proizlaze dva ograničenja na daljnji razvoj toplinskog konzuma te primjenu povoljnijeg hidrauličkog i temperaturnog režima: dimenzija spojnog vrelovoda i direktne toplinske podstanice.

Toplinske podstanice, prema Zakonu o tržištu toplinske energije, nisu objekti distribucije toplinske energije i pripadaju vlasnicima i suvlasnicima zgrada koje su priključene na toplinski sustav. Trenutno je situacija takova da većina zgrada nema dovoljno sredstava kako bi iz pričuve mogli financirati zamjenu direktnih podstanica indirektnima.

Uzimajući u obzir starost spojnog vrelovoda od 30 godina, njegovo stanje i činjenicu da je njegov nadzemni dio tijekom domovinskog rata bio oštećen na dosta mjesta, isti će biti nužno zamijeniti u idućih nekoliko godina kako bi distribucija i opskrba potrošača toplinskom energijom i ubuduće bila sigurna. Kao što je navedeno, postojeći spojni vrelovod NO 550 zadovoljava sadašnje toplinske potrebe grada Osijeka, uz vrlo veliki pad tlaka, te zbog toga predstavlja „usko grlo“ povećanju toplinskog konzuma i snižavanju temperaturnog režima. Cilj je u budućnosti, nakon provedene energetske obnove zgrada, imati što niži temperaturni režim vrelovodne mreže kako bi se smanjili *NVAT* toplinski gubici, omogućilo priključenje niskotemperaturnih obnovljivih izvora u proizvodnji toplinske energije i iskorištavanje otpadne topline. Stoga je u [72] analizirano nekoliko varijanti moguće zamjene spojnog vrelovoda, izrađeni hidraulički proračuni vrelovodne mreže za različite dimenzije spojnog vrelovoda, priključne toplinske snage i temperaturne režime. Varijanta s cjevovodom NO 800 se pokazala najpovoljnijom u hidrauličkom smislu (Slika 7.15.) jer zadovoljava rad mreže bez booster pumpi, omogućuje proširenje toplinskog konzuma te primjenu nižih temperaturnih režima nakon energetske obnove zgrada.



Slika 7.15. Grafički prikaz rezultata hidrauličkog proračuna vrelovodne mreže s novim spojnim vrelovodom NO 800 [72]

Razmatrane su potencijalne uštede koje se mogu ostvariti izgradnjom novog spojnog vrelovoda NO 800 (uštede su prikazane u Tablici 7.12. *lean* metrike):

- rad booster crpki u povratnom vodu u Toplani više ne bi bio potreban
- smanjuju se troškovi rada vezano za pogon booster crpki (3 radnika) i
- smanjuju se gubici vode zbog starosti cjevovoda.

Tablica 7.12. *Lean* metrika potencijalnih ušteda povećanjem promjera spojnog vrelovoda

Stavke	Godišnji troškovi, kn/god		Ušteda, kn/god
	Postojeći (NO 550)	Budući (NO 800)	
1	2	3	4(2-3)
Rad booster pumpi u Toplani (NVAT dio)	789.062,40	0	789.062,40
Trošak (3) zaposlenika (NVAT dio)	504.000,00	0	504.000,00
Gubitak topline (NVAT dio)	1.007.424,00	1.007.424,00	0
Gubitak vode zbog starosti cjevovoda (WT dio)	180.000,00	0	180.000,00
Ukupno (NVAT + WT)	2.480.486,40	1.007.424,00	1.473.062,40

Iako se radi o novom cjevovodu i boljoj toplinskoj izolaciji, nisu predviđene uštede jer se radi o većoj dimenziji cjevovoda, pa su time i proračunski gubici kroz cjevovod i izolaciju veći nego što su kod postojeće manje dimenzije cjevovoda.

Iz ovih podataka se može zaključiti da bi se novim vrelovodom NO 800 mogla ostvariti značajna ušteda u transportu ogrjevnog medija u odnosu na sadašnje troškove u postojećem cjevovodu NO 550. Tome u prilog ide i dio troškova koji ovdje nisu uzeti u obzir, a zasigurno bi se pojavili nakon određenog vremena ako bi se zadržala postojeća dimenzija cjevovoda (kao što su troškovi održavanja i nabave novih booster pumpi). Dodatno, s novim cjevovodom veće dimenzije i troškovi glavnih cirkulacijskih crpki bi bili niži jer bi potrebna visina dobave bila manja.

Stoga je u [72] napravljena ekonomska analiza opravdanosti zamjene na način da je uspoređena, s jedne strane razlika u troškovima zamjene spojnog vrelovoda novim veće dimenzije NO 800 i novim postojeće dimenzije NO 550 (u iznosu od 21.130.910 kn), a s druge strane uštede u transportu ogrjevnog medija koje bi varijanta s cjevovodom NO 800 donijela (iznos od 1.473.062,40 kn). Temeljem provedene ekonomsko-financijske analize prihoda od prodaje toplinske energije, troškova izgradnje te troškova pogona i održavanja, proizlazi sljedeće:

- profitabilnost mjerena internom stopom rentabilnosti iznosi 9,98%
- kumulativni neto primici ekonomskog toka ukazuju na povrat ulaganja u 12. godini.

Obzirom da se zbog dotrajalosti cjevovoda mora ionako provesti zamjena postojećeg vrelovoda NO 550 novim, ovom ekonomskom analizom htjelo se ukazati na opravdanost izgradnje vrelovoda većeg promjera NO 800. Sukladno rezultatima provedene ekonomsko-financijske analize može se zaključiti da je povećanje promjera magistralnog vrelovoda ekonomski prihvatljivo ako se žele stvoriti pretpostavke za budućnost toplinskog sustava: razvoj i proširenje konzuma, primjenu niskotemperaturnih režima, priključenje obnovljivih izvora za proizvodnju toplinske energije i korištenje otpadne topline.

7.10. Ugradnja razdjelnika i termostatskih radijatorskih ventila

Zakon o tržištu toplinske energije [43] propisao je obvezu ugradnje razdjelnika toplinske energije i termostatskih radijatorskih ventila u sve samostalne uporabne cjeline priključene na zajedničko mjerilo u toplinskoj podstanici. Ugradnjom termostatskog radijatorskog ventila regulirat će se željena temperatura prostorije tako da, slično kao kod optimiziranja temperaturnog i hidrauličkog režima vrelvodne mreže, ovo predstavlja primjer primjene *Poka - Yoke* tehnike, ali ovaj put u unutarnjoj instalaciji grijanja kod krajnjeg kupca. Budući da će ugradnja razdjelnika toplinske energije i termostatskih radijatorskih ventila u zgradama priključenim na sustav daljinskog grijanja u gradu Osijeku dovesti do smanjenja potrošnje toplinske energije, to će imati određene posljedice i na pokazatelje u distribuciji toplinske energije.

Imajući u vidu prirast ogrjevnog konzuma u idućih nekoliko godina, temeljni izvori za proizvodnju toplinske energije na lokaciji TE-TO Osijek neće biti dostatni za zadovoljavanje toplinskih potreba ogrjevnog konzuma. Stoga je distributeru (HEP-Toplinarstvu Pogonu Osijek), gledajući s ekonomskog i tehničkog stajališta, u interesu ostvarivanje ušteda u potrošnji toplinske energije kako bi se, i bez dodatnih investicija u modernizaciju i dogradnju proizvodnih toplinskih postrojenja, mogle zadovoljiti potrebe postojećeg i budućeg ogrjevnog konzuma u gradu Osijeku. Dodatno, obzirom da se s važećim tarifnim stavkama za energiju u proizvodnji i distribuciji toplinske energije ne pokrivaju stvarni troškovi u ovim djelatnostima, manja potrošnja toplinske energije značit će i smanjenje gubitaka u poslovanju.

Prema iskustvima drugih gradova u Hrvatskoj, ostvarene uštede nakon ugradnje razdjelnika i termostatskih ventila su na razini zgrade prosječno 25% do 40% [73]. Što će smanjenje potrošnje toplinske energije nakon ugradnje razdjelnika i termostatskih radijatorskih ventila značiti za gubitke u distribuciji toplinske energije ovisit će od načina na koji će se temperaturni i hidraulički režim vrelvodne mreže prilagoditi smanjenoj potrošnji ogrjevnog konzuma. Najbolje bi bilo zadržati hidraulički režim, a sniziti temperaturni režim, no to će biti moguće tek kada se provede energetska obnova zgrada. Smanjenje potrošnje za određeni postotak neće rezultirati smanjenjem temperature razlike za isti iznos. Potrošnja se smanjuje najvećim dijelom zbog neotvaranja prozora, obustave grijanja kada se ne boravi u prostoru i smanjenja grijanja u pojedinim prostorijama. Iskustveni podaci govore da polazne

temperature nakon ugradnje razdjelnika ostaju približno iste, snižavaju se za najviše 1°C do 3°C, a smanjuje se protok ogrjevnog medija u primarnom dijelu toplinske podstanice kako bi se zgradi predala manja količina toplinske energije. Preduvjet za ovo je da su termoregulacijski ventili u funkciji, što se u pravilu i ostvaruje kod zgrada koje ugrade razdjelnike, u suprotnom bi protok kroz podstanice ostao isti i povisile bi se temperature povrata vrelovoda. Ovo će rezultirati manjim protokom u mreži, a temperature polaza vrelovodne mreže ostat će približno iste kao i prije ugradnje razdjelnika.

Na temelju podataka iz 2015. godine (nakon optimiziranja temperaturnog režima) pomoću Termisa će se proračunati što će pretpostavljeno smanjenje potrošnje toplinske energije od 25% i snižavanje temperatura polaza za 2°C nakon ugradnje razdjelnika i termostatskih radijatorskih ventila značiti za gubitke u distribuciji toplinske energije. Rezultati prikazani u Prilogu 10.4. pokazuju da se može očekivati smanjenje toplinskih gubitaka kroz cjevovod i izolaciju (NVAT dio gubitaka) u apsolutnom iznosu za 264 MWh/godišnje, dok se u relativnom iznosu povećavaju (sa 7,50% na 9,57%) jer je manja proizvedena količina toplinske energije zbog smanjene potrošnje. Iz navedenog proizlazi da će ugradnja razdjelnika i termostatskih ventila najviše doprinijeti smanjenju potrošnje energije i emisija dimnih plinova zbog manje proizvodnje toplinske energije i potrošnje primarne energije, kao što je prikazano u Tablici 7.13.

Tablica 7.13. *Lean i green* metrika očekivanog smanjenja gubitaka u distribuciji nakon ugradnje razdjelnika

Stavke		Prije ugradnje razdjelnika	Poslije ugradnje razdjelnika	Indeks
1	2	3	4	5(4/3)
Preuzeta (proizvedena) energija	MWh/god	171.959	131.929	76,72
Isporučena energija VAT dio	MWh/god	159.064	119.298	75,00
Ukupni toplinski gubici	MWh/god	12.895	12.631	97,95
Ukupni toplinski gubici	%	7,50	9,57	127,60
Toplinski gubici WT dio	MWh/god	1.916	1.968	102,71
Toplinski gubici NVAT dio	MWh/god	10.979	10.663	97,12
Pripadajuća emisija CO ₂ za ukupne gubitke	t/god	3.285	3.218	97,96
Pripadajuća emisija CO ₂ za proizvedenu energiju	t/god	43.806	33.608	76,72

8. ZAKLJUČAK

Analize i procjene su pokazale da je okvirne ciljeve smanjenja emisija stakleničkih plinova do 2050. godine u Hrvatskoj moguće smanjiti uz značajne strukturalne promjene u svim sektorima te uz promjene obrasca ponašanja, što je temeljni preduvjet uspjeha. Bio je to motiv da se istraži kakve se promjene i poboljšanja mogu učiniti u djelatnosti distribucije toplinske energije u sustavima daljinskog grijanja primjenjujući *lean* načela.

8.1. Glavni rezultati provedenog istraživanja

Cilj istraživanja bio je, na temelju *lean* načela prikazati i analizirati energetske učinkovitost kao tok vrijednosti u djelatnosti distribucije toplinske energije. Kako bi se ostvario postavljeni cilj koristile su se znanstvene i inženjerske metode te su istražena područja daljinskog grijanja i *Lean-a*. Za osnovna *lean* načela određeno je na što se ona odnose, što podrazumijevaju i obuhvaćaju u sustavima daljinskog grijanja. Za *lean* i *green* gubitke pridruženi su odgovarajući gubici u distribuciji toplinske energije. Proizlazi da se gotovo svi *lean* gubici mogu promatrati kao gubici energije, što je u stvari, uz gubitke vode i emisija stakleničkih plinova, glavni *green* gubitak. Analiziran je proces distribucije toplinske energije kao *lean* proces, postavljene su energetske *VSM* mape početnog i budućeg stanja procesa, odabrani su odgovarajući *lean* alati i tehnike te povezani s aktivnostima iz područja distribucije toplinske energije koje doprinose poboljšanju procesa i povećanju energetske učinkovitosti ove djelatnosti.

Na temelju navedenog postavljen je model praćenja učinkovitosti procesa distribucije toplinske energije primjenom *lean* načela *LEGREM-DHE*, koji je testiran na sustavu daljinskog grijanja u gradu Osijeku. Rezultati testiranja pokazuju sljedeće:

- Primjenom *lean* alata *Standardizacije rada* kroz provedbu revitalizacije vrelovodne mreže ostvarene su uštede veće od ciljanih, što je vidljivo iz vrijednosti svih ključnih pokazatelja procesa distribucije: relativni gubici toplinske energije smanjeni su za 51,43%, pripadajuće emisije CO₂ za gubitke za 62,38% i gubici ogrjevnog medija za 53,15% (Tablica 7.2.).
- Uporabom tehnike *Poka-Yoke* kroz optimiziranje temperaturnog režima i rada glavnih cirkulacijskih crpki u mreži poboljšan je proces distribucije u očekivanim vrijednostima. Smanjenje isporučene toplinske energije iznosi 1,70%, toplinskih gubitaka i pripadajućih emisija CO₂ za 3,95% te potrošnje električne energije za pogon glavnih cirkulacijskih crpki za 16,81% (Tablice 7.7. i 7.8.). Sprječava se pregrijavanje, guranje viška toplinske energije ("*push*") prema krajnjim kupcima i omogućuje da se proizvodi i distribuira samo ona toplinska energija koja je konzumu stvarno potrebna ("*pull*").
- Korištenjem alata *TPM-a* i *5 Whys*, uz stručne i osposobljene radnike na održavanju, moguće je poboljšati proces hitnih intervencija i povećati efikasnost procesa sa 60,9% na 72%, te smanjiti gubitke medija i topline tijekom hitne intervencije za 48,3% (Tablica 7.11.).
- Analiza "*uskog grla*" u vrelovodnoj mreži na primjeru postojećeg spojnog vrelovoda između TE-TO Osijek i Toplane pokazuje da bi se novim vrelovodom NO 800 mogla ostvariti ušteda u transportu ogrjevnog medija oko 1,5 milijuna kuna godišnje u odnosu na sadašnje troškove u postojećem cjevovodu NO 550 (Tablica 7.12.).
- Primjene *Poka-Yoke* tehnike u unutarnjoj instalaciji grijanja kod krajnjeg kupca kroz ugradnju termostatskih radijatorskih ventila i razdjelnika najviše će doprinijeti smanjenju potrošnje energije i emisija zbog manje proizvodnje toplinske energije. Vrlo malo će utjecati na apsolutni iznos toplinskih gubitaka u distribuciji (smanjenje za 264 MWh/godišnje), dok će u relativnom iznosu to značiti povećanje sa 7,50% na 9,57%, jer je manja proizvedena količina toplinske energije zbog smanjene potrošnje (Tablica 7.13.).

Uzimajući u obzir navedeno može se zaključiti da *lean* i *green* metrika praćenja ostvarenih vrijednosti najznačajnijih pokazatelja učinkovitosti procesa distribucije toplinske energije, nakon primjene *lean* alata kroz provođenje navedenih aktivnosti, potvrđuje postavljenu hipotezu ovog doktorskog rada da se **učinkovitost distribucije toplinske energije može povećati primjenom *lean* načela**, te tako smanjiti potrošnja primarne energije i emisija stakleničkih plinova, što pridonosi podizanju kvalitete i ostvarenju vrijednosti usluge iz perspektive krajnjih kupaca priključenih na toplinski sustav. Pri tome je, kao što rezultati i potvrđuju, najznačajniji doprinos poboljšanju procesa primjena *Standardizacije rada* kroz kontinuiranu revitalizaciju vrelovodne mreže.

Dodaju li se ovim aktivnostima i one koje su navedene kao moguće na strani proizvodnje i zgradarstva, zasigurno se u sektoru toplinarstva mogu ostvariti i znatno veće vrijednosti od zacrtanih ciljeva glede povećanja energetske učinkovitosti, udjela obnovljivih izvora energije i smanjenja emisija dimnih plinova, što potvrđuje značajnu ulogu sustava daljinskih grijanja (i hlađenja) u provođenju energetske klimatske politike Europske unije i prelasku na niskougljično gospodarstvo.

Pokazujući da se *Lean* metodologija može koristiti za analizu i upravljanje osnovnog energetskog (tehnološkog) procesa distribucije toplinske energije, te uzimajući u obzir da za primjenu *Lean-a* u ostalim pomoćnim procesima postoje brojni primjeri u praksi i drugim radovima, pruža se mogućnost da se samo jedan koncept može koristiti za upravljanje svim procesima u ovoj djelatnosti. To predstavlja pogodnost jer tako gotovo svi u poduzeću primjenjuju *Lean* u svom području rada, što je osnova za uspješno provođenje *Lean* transformacije na razini cijelog poduzeća.

Iz opisanog proizlazi da je istraživački rad tijekom izrade ove disertacije rezultirao sljedećim znanstvenim doprinosom u području daljinskog grijanja i području *Lean-a*:

- sistematizirani su *lean* i *green* gubici u djelatnosti distribucije toplinske energije
- postavljena je nova energetska *VSM* mapa za proces distribucije toplinske energije
- oblikovan je model za praćenje učinkovitosti procesa distribucije toplinske energije *LEGREM-DHE* i
- razvijen je novi proces rada u energetske djelatnostima utemeljen na *lean* načelima.

Uz navedeno, vrijedno je spomenuti i da je u radu potvrđena povezanost *Lean* i *Green* pristupa, opisana u radovima navedenim u pregledu dosadašnjih istraživanja u 2. poglavlju.

8.2. Mogućnosti daljnjeg istraživanja

Pored analiziranih aktivnosti karakterističnih za djelatnost distribucije toplinske energije, značajan utjecaj na učinkovitost procesa distribucije mogu imati i aktivnosti koje se provode u djelatnosti proizvodnje toplinske energije, na strani potrošnje energije u zgradarstvu te u području razvoja toplinskog sustava:

- korištenje obnovljivih izvora u proizvodnji toplinske energije
- korištenje učinkovitih kogeneracijskih postrojenja za proizvodnju toplinske energije
- iskorištavanje otpadne topline (iz industrijskih procesa i sl.)
- energetska obnova zgrada
- mapiranje toplinskih potreba i širenje sustava na područja niže toplinske gustoće.

U nastavku istraživanja treba analizirati i te mjere i aktivnosti kako bi se mogao vrednovati njihov značaj i utjecaj na poboljšanje procesa distribucije toplinske energije. Također, istraživanje se može nastaviti i u ostalim procesima distribucije kako bi se izradio *lean-green* model za praćenje i mjerenje transformacije na razini cijelog poduzeća – energetskog subjekta za distribuciju toplinske energije. Uz određene prilagodbe, takav model zasigurno bi se mogao primijeniti i u drugim energetske djelatnostima, uvažavajući njihove specifičnosti.

9. LITERATURA

- [1] https://unfccc.int/essential_background/convention/items/6034.php 12.10.2015.
- [2] <http://www.eea.europa.eu/themes/climate/policy-context> 12.10.2015.
- [3] <http://www.euroheat.org/news> (Press Release: No successful climate action without sustainable heat. Brussels/New-York 24 September 2014); 27.10.2015.
- [4] Plan puta za prijelaz na konkurentno gospodarstvo s niskim udjelom ugljika do 2050. godine. Europska komisija COM(2011) 112; Brussels, 2011.
- [5] Tranzicija prema niskougljičnom razvoju Republike Hrvatske / Okvir za izradu Strategije niskougljičnog razvoja – sažrtak / Primjeri dobre prakse iz Hrvatske. Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj; 2013.
- [6] Woods P, Gunning R, Snock C, Onno T, Yang L, Ahonen M, Wiltshire R. The Optimisation of District Heating Operating Temperatures and an Appraisal of the Benefits of Low Temperature District Heating. IEA District Heating and Cooling, Annex V; 1999.
- [7] Brandweiner O. Lower return temperatures within District heating Systems – A Comparision of Danish and German District heating Systems [magistarski rad]. University of Aalborg, Denmark; 2009.
- [8] Schmitt F, Hoffmann HW, Göhler T. Strategies to Manage Heat Losses – Technique and Economy. IEA District Heating and Cooling, Annex VII; 2005.
- [9] Nuorkivi A. To the Rehabilitation Strategy of District Heating in Economies in Transition [doktorski rad]. Helsinki University of Technology, Finland; 2005.
- [10] Drysdale A. Optimised District Heating Systems Using Remote Heat Meter Communication and Control. IEA District Heating and Cooling, Annex VI; 2002.
- [11] Andersson T. The potential of utilizing geographic information systems for the district heating networks within Fortum Heat [doktorski rad]. Uppsala Universitet, Sweden; 2013.

- [12] Nielsen S. Spatial Heat Planning and Heat Demand Reductions in Buildings [doktorski rad]. University of Aalborg, Denmark; 2013.
- [13] Amiri S. Economic and Environmental Benefits of CHP –based District Heating Systems in Sweden [doktorski rad]. Linköping University, Sweden; 2013.
- [14] Spurr M, Sivertsson T, Moe E, Lehtmetts M. Economic and Design Optimization in Integrating Renewable Energy and Waste Heat with District Energy Systems. IEA District Heating and Cooling, Annex X; 2014.
- [15] Axell M, Alsbjær M, Lindahl M, Stang J, Berner M, Yoon Seok M, Eom JS, Eom KI. The potential for increased primary energy efficiency reduced CO₂ emissions by district heating and cooling: method development and case studies. IEA District Heating and Cooling, Annex IX; 2011.
- [16] Rosa AD, Li H, Svendsen S, Werner S, Persson U, Ruehling K, Felsmann C, Crane M, Burzynski R, Bevilacqua C. Toward 4th Generation District Heating. IEA District Heating and Cooling, Annex X; 2014.
- [17] Kilpatrick AM. Lean manufacturing principles: a comprehensive framework for improving production efficiency [magistarski rad]. MIT, Cambridge; 1997.
- [18] Smith R, Hawkins B. Lean Maintenance, Reduces Costs, Improve Quality and Increase Market Share. Burlington: Elsevier Inc; 2004.
- [19] Bowen D, Youngdahl W. Lean service: in defense of a production-line approach. International Journal of Service Industry Management. 1998;9(3):207-19.
- [20] Murman E, Allen T, Bozdogan K, Cutcher-Gershenfeld J, McManus H, Nightingale D, Rebentisch E, Shields T, Stahl F, Walton M, Warmkessel J, Weiss S, Widnall S. Lean Enterprise Value. Palgrave: MIT's Lean Aerospace Initiative; 2002.
- [21] Found PA. Lean and Low Environmental Impact Manufacturing. POMS 20th Annual Conference; Orlando, Florida, 2009.
- [22] Kyrö R, Luoma T, Junila S, Määtänen E. Linking Lean to Green – Energy Efficiency as a Value Stream. 10th EuroFM Research Symposium EFMC2011; Vienna, Austria, 2011.
- [23] Nginiatedema T, Li S. Green operations and organizational performance. International Journal of Business and Social Science. 2014;5(3):50-9.
- [24] Bergmiller GG, McCright PR. Are Lean and Green Programs Synergistic? Proceedings of the 2009 Industrial Engineering Research Conference; Miami, Florida, 2009.

- [25] King AA, Lenox MJ. Lean and green? An empirical examination of the relationship between Lean production and environmental performance. *Production and Operations Management*. 2001;10(3):244-13.
- [26] Bergmiller GG, McCright PR. Parallel Models for Lean and Green Operations. *Proceedings of the 2009 Industrial Engineering Research Conference*; Miami, Florida, 2009.
- [27] Duarte S. Modelling Lean and Green Supply Chain [doktorski rad]. Faculdade de Ciencias e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa, Portugal; 2013.
- [28] Sjögren B. Lean & Green Production Navigator – step 1. Vinnova Dnr: 2010-01338, Stockholm; 2010.
- [29] Sawhney R, Kannan S, Li X. Developing a value stream map to evaluate breakdown maintenance operations. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*. 2009;4(3):229-12.
- [30] Ross G. A Set of guidelines for a preliminary investigation into using District Heating and Cooling together with Sustainable Buildings in Glasgow [magistarski rad]. University of Strathclyde Engineering, Glasgow; 2008.
- [31] District Heating in Buildings. Euroheat & Power; Brussels, 2011.
- [32] <http://www.euroheat.org/news> (Policy Statement: 2030 Framework Incomplete Without Heating and Cooling. Brussels, 28 January 2014) 27.10.2015.
- [33] Laskowski K. DHC Country by Country 2013. 36th Euroheat & Power Congress; Vienna, 2013.
- [34] <http://www.eea.europa.eu/themes/climate/intro> 12.10.2015.
- [35] Zelena knjiga o okviru za klimatsku i energetska politiku do 2030. Europska komisija COM(2013) 169; Brussels, 2013.
- [36] Connolly D, Mathiesen BV, Østergaard PA, Möller B, Nielsen S, Lund H, Persson U, Werner S, Grözinger J, Boermans T, Bosquet M, Trier D. Heat Roadmap Europe 2050. Aalborg University, Halmstad University, Ecofys Germany GmbH, PlanEnergi; Aalborg, 2013.
- [37] Energetski plan do 2050. Europska komisija COM(2011) 885; Brussels, 2011.
- [38] Direktiva Europske unije o energetske učinkovitosti. Europski parlament i vijeće EU (2012/27/EU); Brussels, 2012.
- [39] An EU Strategy on Heating and Cooling. European Commission COM(2016) 51 final; Brussels, 2016.

- [40] Strategija održivog razvitka Republike Hrvatske. Narodne novine 30/2009.
- [41] Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske. Narodne novine 130/2009.
- [42] Zakon o energetskej učinkovitosti. Narodne novine 127/2014.
- [43] Zakon o tržištu toplinske energije. Narodne novine 80/2013, 14/2014, 102/2014.
- [44] Godišnje izvješće za 2014. godinu. Hrvatska energetska regulatorna agencija; Zagreb, 2015.
- [45] Metodologija utvrđivanja iznosa tarifnih stavki za distribuciju toplinske energije. Narodne novine 56/2014.
- [46] Štefanić N. Zelena i Vitka proizvodnja i usluge – prilike za hrvatska poduzeća. Zbornik radova 1. Konferencije o zelenoj i vitkoj proizvodnji i uslugama GALP 2011; Zagreb, 2011.
- [47] Womack J. Walking Through Lean History. Lean Enterprise Institute, Inc; 2004.
- [48] Fujimoto T. The Evolution of a Manufacturing System at Toyota. Oxford: Oxford University Press; 1999.
- [49] Ohno T. The Toyota production system: Beyond large – scale production. Portland: Productivity Press; 1988.
- [50] Veža I. Formiranje Lean sistema kroz definiranje poslovnih strategija (Hoshin Kanri) i implementiranje kontinuiranog unaprijeđenja na svim razinama tvrtke (Kaizen). Zbornik radova 1. Konferencije o zelenoj i vitkoj proizvodnji i uslugama GALP 2011; Zagreb, 2011.
- [51] Womack JP, Jones DT. Lean thinking. New York: Simon and Schuster, Inc; 1996.
- [52] Womack JP, Jones DT, Roos D. The Machine that Changed the World. New York: Harper Perennial; 1990.
- [53] Krafcik JF. Triumph of the Lean Production System. Sloan Management Review.1988;30(1):41-12.
- [54] Štefanić N, Tošanović N. Lean proizvodnja. 2012.
- [55] <http://www.leanproduction.com/intro-to-lean.html> 31.10.2014.
- [56] <https://www.pinterest.com> 11.12.2015.
- [57] VSM Value Stream Mapping. Zagreb: LMI; skripta sa seminara 25.04.2014.
- [58] <http://www.leanproduction.com/top-25-lean-tools.html> 31.10.2014.
- [59] KAIZEN Kontinuirano unaprjeđivanje poslovnih procesa. Zagreb: LMI; skripta sa seminara 04.07.2014.

- [60] Smalley A. TPM at the heart of Lean.
http://www.leaninstituut.nl/publications/tpm_at_the_heart_of_lean.pdf 16.07.2015.
- [61] <http://www.northlotdevelopment.com/sustainability.html> 31.10.2014.
- [62] Dumančić M, Jugović M. Smjernice za održivost razvoja kogeneracijskih postrojenja u centraliziranim toplinskim sustavima. Zbornik radova 11. Savjetovanje HRO-CIGRE; Šibenik, 2015.
- [63] Mihaljević I. Lean i green gubici u distribuciji toplinske energije. Zbornik radova 12. Skupa o prirodnom plinu, toplini i vodi PLIN2014; Osijek, 2014.
- [64] Mihaljević I, Brnadić T. Razvoj energetske VSM mape za proces distribucije toplinske energije. Zbornik radova Lean Spring Summit; Šibenik, 2015.
- [65] Izvješća o poslovanju Pogona Osijek od 2004. do 2015. HEP-Toplinarstvo d.o.o. Pogon Osijek; Osijek.
- [66] Registar onečišćavanja okoliša, Obrazac PI-Z-3 Ispuštanja u zrak iz procesa izgaranja goriva za dobivanje toplinske i/ili električne energije, za TE-TO Osijek. Podaci za 2010. – 2014.
- [67] Komerički Z, Vidak D, Papić M, Blažičko R. Tehno-ekonomska analiza opravdanosti zamjene vrelovodne mreže i revitalizacije CTS-a te priključenja lokalnih kotlovnica na CTS grada Osijeka. Ekonerg – Institut za energetiku i zaštitu okoliša d.o.o.; Zagreb, 2005.
- [68] Martinović J. Ekonomska analiza isplativosti revitalizacije vrelovodne mreže u gradu Osijeku u razdoblju od 2005. do 2014. Osijek; 2016.
- [69] Tehničko-ekonomska optimizacija sustava daljinskog grijanja (TEOSDG) HEP-Toplinarstva. HEP-Toplinarstvo d.o.o.; Zagreb, 2013.
- [70] Upute za vođenje vrelovodnog sustava u gradu Osijeku za sezonu grijanja 2014/15. HEP-Toplinarstvo d.o.o. Pogon Osijek; Osijek, 2014.
- [71] Ban D, Grubišić D, Ilić M, Škarić D. Mogućnosti poboljšanja tehnološkog procesa i ušteda energije primjenom frekvencijski reguliranog pogona, iskustva iz TE-TO Osijek. Zbornik radova 11. Savjetovanje HRO-CIGRE; Cavtat, 2013.
- [72] Živković V, Grašovec M, Kolednjak D, Andročec M. Studija opravdanosti povećanja dimenzije spojnog vrelovoda TE-TO Osijek – Toplana. Inženjering za naftu i plin d.o.o.; Zagreb, 2014.

- [73] Pržulj I, Miletić M, Rajić K, Maras H, Šegon V, Mihaljević I. Analiza mogućnosti i isplativosti primjene razdjelnika toplinske energije za stambene i poslovne zgrade u gradu Osijeku. Regionalna energetska agencija Sjeverozapadne Hrvatske; Zagreb, 2013.
- [74] Metodologija utvrđivanja iznosa tarifnih stavki za proizvodnju toplinske energije. Narodne novine 56/14.
- [75] Pravilnikom o načinu raspodjele i obračunu troškova za isporučenu toplinsku energiju. Narodne novine, br. 99/14, 27/15, 124/15.

10. PRILOZI

10.1. Toplinarstvo grada Osijeka

Toplifikacija grada Osijeka je započela 1963. godine prenamjenom dotadašnje termoelektrane tzv. "munjare" u gradsku toplanu (Slika 10.1.).



Slika 10.1. Toplana Osijek

Toplinske sustave grada Osijeka čine centralni parovodni i vrelovodni sustavi, te dva zatvorena sustava tj. dvije blokovske kotlovnice u naselju Jug III i na Vijencu V. Nazora. Osnovna zadaća toplinskih sustava je opskrba toplinskom energijom stambenih, poslovnih i industrijskih potrošača u gradu Osijeku. Parovodni sustav opskrbljuje tehnološkom parom

uglavnom tvornice u istočnoj industrijskoj zoni. Iz vrelovodnog sustava griju se kućanstva i poslovni potrošači, a blokove kotlovnice pokrivaju toplinski konzum u naseljima gdje se nalaze, uz napomenu da kotlovnica na Vijencu V. Nazora proizvodi toplinsku energiju samo za pripremu PTV-a, a prostori se griju preko vrelovodnog sustava (na vrelovodnom sustavu nema pripreme PTV-a).

Kapaciteti za proizvodnju toplinske energije za centralne sustave smješteni su na dvije lokacije, osnovni izvori na lokaciji TE-TO Osijek, a pričuveni i vršni izvori na lokaciji stare Toplane. Izvori su međusobno udaljeni oko 4,5 km, povezani su magistralnim parovodom i magistralnim vrelovodom. Parovodna mreža je izgrađena samo u istočnom dijelu grada, gdje se i nalazi najznačajnija industrija, dok je vrelovodna mreža rasprostranjenija i izgrađena je u gotovo svim dijelovima grada gdje je gušća naseljenost. Osnovni podaci o pojedinim toplinskim sustavima prikazani su u Tablici 10.1. (stanje na dan 31.12.2014.).

Tablica 10.1. Osnovni podaci o pojedinim toplinskim sustavima u gradu Osijeku

Toplinski sustav	Prikjučna toplinska snaga, MW	Duljina mreže, km	Broj toplinskih podstanica, kom	Broj potrošača			
				Industrijski	Poslovni	Kućanstva	Ukupno
Parovodni	23,98	7,70	13	11	8	0	19
Vrelovodni	159,09	46,85	718	0	1252	10100	11352
Kotlovnice – grijanje	2,19	0,58	10	0	5	332	337
Kotlovnice – PTV	1,35	1,17	21	0	1	751	752
Ukupno	186,61	56,30	762	11	1267	11182	12460

10.1.1. Proizvodnja toplinske energije

Na lokaciji TE-TO (Slika 10.2.) nalaze se sljedeće energetske jedinice:

- dva plinsko turbinska agregata snage 25 MW_{el} svaki, s kotlom na otpadnu toplinu kapaciteta 56 t/h
- tri parna steambloc kotla svaki po 18 t/h
- parni kogeneracijski blok električne snage 45 MW i toplinske snage 139 MW (blok se sastoji od dva parna kotla, proizvodnje 2 x 125 t/h pare, te parne turbine s tri neregulirana i jednim reguliranim oduzimanjem).

U sklopu bloka 45 MW na lokaciji TE-TO Osijek je i glavna vrelovodna stanica za potrebe grijanja grada koja ima dva vrelovodna zagrijača snage 2 x 45 MW i jednog zagrijača snage 49 MW. Postrojenje za cirkulaciju vrele vode sastoji se od tri crpke (dvije radne i rezervna) koje kroz mrežu volumena 4.740 m³ potiskuju 2.050 m³/h vode.



Slika 10.2. Termoelektrana - toplana Osijek

U staroj Toplani se nalaze kotlovska postrojenja, koja se sastoje od jednog parnog kotla kapaciteta 50 t/h i dva vrelovodna kotla kapaciteta 35 MW i 58 MW. Instalirani kapaciteti koriste se za pokrivanje vršnog opterećenja ili kao pričuva u slučaju kada izvori u TE-TO nisu u pogonu (nakon 1995. godine rade samo nekoliko desetaka sati godišnje).

10.1.2. Distribucija toplinske energije - vrelovodna mreža

Vrelovodnom mrežom distribuira se toplinska energija od toplinskih izvora do toplinskih podstanica ogrjevnih potrošača (Slika 10.3.). Mreža je građena kao dvocijevni sustav, u području istočne industrijske zone je položena nadzemno, a najveći dio mreže je položen podzemno, u monolitne armirano-betonske kanale (čelične cijevi toplinski izolirane mineralnom vunom), i beskanalnim načinom polaganje s tvornički predizoliranim cijevima. Grad Osijek je ranije bio podijeljen na zone toplifikacije i zone plinifikacije tako da se vrelovodna mreža gradila i razvijala u područjima gušće naseljenosti, što je bio jedan od



Slika 10.3. Centralni toplinski sustav grada Osijeka

preduvjeta za isplativost toplifikacije. Vrelovodna mreža se proteže od TE-TO Osijek na istoku do Vijenca V. Nazora na zapadu grada, te od Toplane na sjeveru do Gradskog vrta na jugu grada. Oko jedne trećine građana Osijeka je priključeno na vrelovodni sustav. Za sva područja u zoni toplifikacije postojeća magistralna vrelovodna mreža dimenzionirana je da može pokriti potrebe novog toplinskog kozuma u dijelovima grada u kojima je urbanističkim planovima predviđeno širenje i izgradnja novih stambeno-poslovnih objekata. Osnovni podaci o vrelovodnoj mreži i prosječnoj starosti mreže prikazani su u Tablicama 10.2. i 10.3.

Tablica 10.2. Osnovni podaci o vrelovodnoj mreži

Nazivni promjer, mm	Duljina trase vrelovoda		
	Nadzemno, m	Podzemno, m	Ukupno, m
NO 650		580	580
NO 550	2060	2900	4960
NO 400		1100	1100
NO 350		350	350
NO 300		1140	1140
NO 250		3240	3240
NO 200		3220	3220
NO 150 ÷ NO 32		32260	32260
Ukupno	2060	44790	46850

Tablica 10.3. Podaci o prosječnoj starosti mreže

	Prosječna starost mreže, godina							
	0-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	Ukupno
Duljina vrelovoda, m	8060	7150	7550	7500	8000	6000	2590	46850

10.1.3. Vrelovodne toplinske podstanice

Na centralnom vrelovodnom sustavu je 718 toplinskih podstanica na koje je priključen stambeni i poslovni konzum ukupne toplinske snage 159,1 MW. Toplinske podstanice su u vlasništvu suvlasnika zgrada u kojima su smještene. Starije podstanice, prikazane na Slici 10.4., su pretežito direktnog tipa, a novije podstanice i podstanice u istočnom dijelu grada između TE-TO Osijek i Toplane su indirektna (Slika 10.5.). Kod direktnih toplinskih stanica teoretski temperaturni režim sekundarnog kruga je 90/70°C, a kod indirektnih je 80/60°C.



Slika 10.4. Toplinska podstanica direktnog tipa



Slika 10.5. Toplinska podstanica indirektnog tipa (Kompakt)

Osnovni podaci o podstanicama prikazani su u Tablicama 10.4. i 10.5.

Tablica 10.4. Pregled toplinskih podstanica po tipu i dimenzijama

Tip podstanice	Broj toplinskih podstanica po dimenzijama, kom								
	NO15	NO20	NO25	NO32	NO40	NO50	NO65	NO80	Ukupno
Direktna	4	4	137	53	106	99	66	16	485
Indirektna	73	7	42	27	50	16	14	4	233
Ukupno	77	11	179	80	156	115	80	20	718

Tablica 10.5. Prosječna starost toplinskih podstanica

Prosječna starost podstanice, godina	Broj toplinskih podstanica, kom								
	NO15	NO20	NO25	NO32	NO40	NO50	NO65	NO80	Ukupno
0-5	27	2	9	11	6	0	6	1	62
6-10	47	6	31	8	24	5	6	1	128
11-15	3	3	51	14	11	2	1	0	85
16-20	0	0	25	10	11	5	1	1	53
21-25	0	0	37	17	24	23	13	2	116
26-30	0	0	19	8	21	21	19	3	91
31-35	0	0	6	10	30	18	17	4	85
35-40	0	0	1	2	9	20	6	6	44
41-45	0	0	0	0	19	16	11	2	48
46-50	0	0	0	0	1	5	0	0	6
Ukupno	77	11	179	80	156	115	80	20	718

10.1.4. Potrošači toplinske energije

U Tablici 10.6. su prikazani podaci o broju potrošača na pojedinom toplinskom sustavu i toplinskoj snazi pojedinih kategorija potrošača (stanje na dan 31.12.2014.). Najbrojniju kategoriju potrošača čine kućanstva koja toplinsku energiju koriste za grijanje stambenih prostora, a samo manji dio i za pripremu PTV-a (oni koji su priključeni na kotlovnice). Na vrelovodni sustav priključeno je 10.100 potrošača kategorije kućanstvo ukupne grijane površine 585.549 m² i ukupne ugovorene toplinske snage 85,76 MW.

Tablica 10.6. Podaci o potrošačima i toplinskom konzumu

Toplinski sustav	Broj potrošača				Toplinska snaga konzuma, MW			
	Industrijski	Poslovni	Kućanstva	Ukupno	Industrijski	Poslovni	Kućanstva	Ukupno
Parovodni	11	8	0	19	22,8	1,18	0	23,98
Vrelovodni	0	1252	10100	11352	0	73,33	85,76	159,09
Kotlovnice - grijanje	0	5	332	337	0	0,03	2,16	2,19
Kotlovnice - PTV	0	1	751	752	0	0,002	1,35	1,35
Ukupno	11	1266	11183	12460	22,8	74,54	89,27	186,61

Kategoriju poslovnih potrošača čine potrošači koji toplinsku energiju iz vrelovodnog sustava i blokovskih kotlovnica koriste za grijanje poslovnih prostora koji im služe za proizvodnju ili davanje različitih usluga te za grijanje poslovnih i radnih prostora kao što su:

predškolske ustanove, školske i obrazovne ustanove, fakulteti, ustanove za sport i kulturu, zdravstvene ustanove, prostori uprave, ustanove Crvenog križa, Karitasa, domovi za učenike, studente, umirovljenike, nezbrinutu djecu i dr. Na centralni vrelovodni sustav priključena su 1.252 poslovna potrošača ukupne ugovorene toplinske snage 73,33 MW.

10.1.5. Tarifni sustav

Prema [43] energetska djelatnost proizvodnje toplinske energije u centralnom toplinskom sustavu se obavlja kao javna djelatnost sve do trenutka kada udio proizvodnje određenog proizvođača bude manji od 60% potreba za toplinskom energijom centralnog toplinskog sustava, kada se ova energetska djelatnost treba obavljati kao tržišna. Energetska djelatnost distribucije toplinske energije se obavlja kao javna djelatnost, dok se energetska djelatnost opskrbe toplinskom energijom obavlja kao tržišna.

Visine tarifnih stavki za javne djelatnosti proizvodnje i distribucije toplinske energije u centralnim toplinskim sustavima određuju se u skladu s propisanim metodologijama [45] i [74]. Potrošači su svrstani u dvije tarifne grupe, jedna su kućanstva, a druga industrijski i poslovni potrošači. Potrošačima su pridruženi tarifni modeli obračuna potrošnje toplinske energije ovisno o vrsti ogrjevnog medija kojeg koriste (vrela/topla voda ili tehnološka para).

Po završetku obračunskog razdoblja (mjeseca) očitava se potrošnja toplinske energije na svim obračunskim mjernim mjestima (zajedničkim i zasebnim). Uzimajući u obzir tu potrošnju, ugovorenu toplinsku snagu, visinu pripadajućih tarifnih stavki i naknada, obračunavaju se mjesečni troškovi za isporučenu toplinsku energiju. Za isporučenu toplinsku energiju na zajedničkom mjerilu toplinske energije se, u skladu s odlukom o načinu raspodjele (koju su za svako zajedničko obračunsko mjerno mjesto donijeli vlasnici samostalnih uporabnih cjelina) raspodjeljuju troškovi za energiju i snagu prema odabranom modelu raspodjele u skladu s [75]. Troškovi za energiju na vrelovodnom sustavu obračunavaju se samo u sezoni grijanja (na kotlovnica i izvan sezone grijanja zbog pripreme potrošne tople vode), a troškovi za snagu, naknade za opskrbu i za obavljanje djelatnosti kupca obračunavaju se tijekom cijele godine.

10.2. Ekonomska analiza isplativosti revitalizacije vrelovodne mreže [68]

10.2.1. Pristup analizi

Analizom bi trebalo dokazati isplativost projekta. Mjerila za ocjenu projekta mogu biti tehničko-tehnološka, društvena i ekonomsko-financijska.

Glavni tehničko-tehnološki razlog revitalizacije mreže je održanje funkcionalnosti vrelovodnog sustava. Podrobnije, razlozi su obrazloženi u točki 7.6. ovog rada. Od navedenih razloga posebno treba naglasiti:

- starost vrelovodne mreže (koja je građena tadašnjim postupkom izoliranja mineralnom vunom i zaštićena bitumeniziranim papirom i kojoj je istekao i tehnički i ekonomski vijek uporabe),
- relativno visoke toplinske gubitke,
- gubitke ogrjevnog medija i
- česte prekide u opskrbi zbog puknuća cjevovoda.

Društveno mjerilo revitalizacije treba promatrati kroz obvezu pružanja javne usluge distribucije toplinske energije. Veliki kvarovi na pojedinim dionicama dotrajale mreže potencijalno bi mogli dovesti u pitanje funkcionalnost većeg dijela vrelovodnog sustava te prekid sigurne i kontinuirane isporuke toplinske energije. S društvenoga stajališta ekonomsko-financijska isplativost projekta revitalizacije ima manje značenje u odnosu na javnu korisnost.

Za analizu ekonomsko-financijske isplativosti ulaganja na raspolaganju je više metoda. Prednost treba dati onoj koja će najprikladnije vrednovati čimbenike cilja (svrhe) i vrste ulaganja. Kako je svrha revitalizacije zamjena stare dotrajale distribucijske vrelovodne mreže radi smanjenja toplinskih gubitaka i gubitaka ogrjevnog medija, smanjenja troškova održavanja te povećanja pouzdanosti opskrbe toplinskom energijom, a ulaganje ima obilježje dugoročnoga, analitičkim metodama treba vrednovati gubitke i kapitalne troškove (održavanja i amortizacije) prije i poslije revitalizacije, te utvrditi u kojem će se razdoblju vratiti kapitalno ulaganje, odnosno kakav je utjecaj financiranja revitalizacije iz različitih izvora na buduće novčane tokove i uopće na strukturu imovinske likvidnosti.

U analitičkoj praksi rabe se dvije skupine metoda: metode povrata ulaganja i metode vremenske vrijednosti novca. Od metoda povrata ulaganja najčešće se upotrebljava metoda računovodstvene stope povrata (*Accounting Rate of Return – ARR*) i metoda razdoblja povrata (*Payback Period Method – PBP*), a od metoda vremenske vrijednosti novca podjednaka je uporaba metode čiste sadašnje vrijednosti (*Net Present Value Method – NPV*) i metode interne stope povrata ili interne stope rentabilnosti (*Internal Rate of Return – IRR*), dok je manje prisutna metoda indeksa profitabilnosti (*Profitability Indeks – PI*). Analitičari se najviše koriste metodom čiste sadašnje vrijednosti.

Na odabir analitičke metode utječe i činjenica da se u našem slučaju ne radi o ulaganju u posebnu tehnološku pa prema tome ni organizacijsku cjelinu za koju se može ustrojiti zasebna računovodstvena evidencija, već se radi o ulaganjima u zamjenu na pojedinim dijelovima vrelodovne mreže. Druga važna činjenica je da za ekonomsku analizu ne postoje potpuna temeljna financijska izvješća (Bilanca, Račun dobiti i gubitka i Izvještaj o novčanim tokovima) jer se radi o ulaganju u organizacijskoj jedinici koja ima status Pogona u sastavu HEP-Toplinarstva d.o.o. Zagreb, za koji se takva izvješća ne sastavljaju. Ona koja se sastavljaju nepotpuna su jer se mnoge troškovne i kapitalne stavke vode na razini Društva ili čak na višoj organizacijskoj razini, u HEP Grupi. Zato bi trebalo preurediti i/ili proračunati odgovarajuće računovodstvene podatke metodom najmanje pogreške. Treća, možda i najvažnija činjenica je da se radi o ulaganju u infrastrukturu za koje nije glavni cilj ostvarenje dobitaka i povrata uložених sredstava već pružanje javne usluge distribucije toplinske energije na siguran i pouzdan način. Osim toga, takvo je ulaganje dugoročno. Svako ulaganje je više ili manje rizično – nosi visok stupanj neizvjesnosti, a ulaganje na duži rok pred većom je neizvjesnošću. Kod dugoročnog ulaganja izdatak nastaje u sadašnjosti, a povratak sukcesivno u budućnosti. Zato za investicijska i ostala dugoročna ulaganja računovođe kažu da predstavlja odgođeni trošak. Sukcesivni povrat ulaganja tijekom razdoblja uporabe izračunava se cijenom uporabe koja se naziva amortizacijskim troškom.

Sve metode u račun uzimaju odnos učinaka i troškova projekta, tj. dobitak nakon oporezivanja i iznos ulaganja (diskontirane sadašnje vrijednosti budućih čistih prinosa i sadašnje vrijednosti ulaganja) bez vrednovanja npr. javne korisnosti. Osim toga, metode ne uzimaju u obzir izgubljene prinose, koji bi bili ostvareni da se uložilo u druge (alternativne) moguće isplativije projekte i koji bi se trebao računati kao oportunitetni trošak ulaganja u odabrani projekt.

Za ocjenu metodom razdoblja povrata treba utvrditi koje je razdoblje povrata bilo predviđeno, a koje će biti ostvareno. Ostvareno vrijeme povrata računa se kao odnos iznosa ulaganja i budućih prosječnih neto dobitaka.

Za diskontiranje novčanih tokova važno je utvrditi diskontnu stopu, jer ona izravno utječe na ocjenu povrata uloga. Mnoge tvrtke za diskontiranje novčanih tokova rabe stopu troška kapitala (*WACC*), poglavito se to odnosi na pretežito državne tvrtke koje ulažu u infrastrukturne objekte.

10.2.2. Ekonomsko-financijska analiza

S obzirom na date metode mjerenja isplativosti ulaganja s jedne strane i raspoloživost tehničkih i računovodstvenih podataka s druge strane, analizirat će se samo izravni i mjerljivi utjecaji zamjena na kretanje učinkovitosti projekta i posljedično tome na financijske tokove.

Ekonomsko-financijska isplativost analizirat će se mjerenjem učinaka ekonomskih i financijskih tokova u budućem razdoblju uporabe zamijenjenih vrelovoda. Analiza je načinjena na temelju sljedećih pretpostavki:

- sukcesivna ulaganja u zamjene preračunata su na jednokratno ulaganje,
- razdoblje procjene učinaka: 20 godina,
- proračun ekonomskih tokova do 2014. godine na temelju ostvarenih količina proizvedene i isporučene toplinske energije u pojedinoj godini, a u narednim godinama na temelju količina iz 2014. godine,
- proračun ekonomskih i financijskih tokova na temelju stalnih cijena,
- ekonomski vijek uporabe zamijenjenih vrelovoda: 40 godina,
- diskontna stopa: 6,5%,
- stopa poreza na dobitak: 20%,
- način financiranja zamjene: akumulirana amortizacija.

O nekim gornjim pretpostavkama potrebno je dati obrazloženje. Prvo, posebna je osobitost da zamjena predmetnih vrelovoda nije bila jednokratna. Obavljana je u dugome razdoblju, čak i s dvogodišnjim prekidom. Radi usporedbe vrijednosti ostvarenih učinaka zamjene s uloženim financijskim sredstvima, nominalni iznosi sukcesivnih ulaganja diskontirani su na početak razdoblja zamjene.

Drugo, za razdoblje od 2005. do 2014. godine postoje stvarni podaci o proizvedenoj i isporučenoj toplinskoj energiji te podaci o stvarnim gubicima energije i dopune vode. Oscilacije po godinama rezultat su prosječne temperature zraka u ogrjevnoj sezoni i zanemarivo priključivanjem novih potrošača. Pretpostavlja se da će dostignute uštede na troškovima energije i vode koje su postignute zamjenom predmetnih vrelovoda, u narednom analitičkom razdoblju biti na razini 2014. godine.

Treće, procjenjuje se da će ekonomski vijek uporabe zamijenjenih vrelovoda biti najmanje 40 godina. Ako je od 12.665 m vrelovoda koji su zamijenjeni bilo 4.127 m koji su bili u uporabi najmanje 44 godine, a građeni su sa slabijim izolacijom, nova tehnologija je jamac tehničkog vijeka uporabe od najmanje 40 godina.

Četvrto, iako je zamjena financirana s oko 73% kreditnih sredstava, za analizu treba uzeti da je cjelokupan projekt financiran sredstvima akumulirane amortizacije. Naime, akumulirana sredstva od obračunavane amortizacije tijekom vijeka uporabe trebaju biti upotrijebljena za financiranje zamjene dotrajalog sredstva (jer treba održati trajnost poslovanja). Dok ne dođe vrijeme za zamjenu, obračunavani iznosi se koriste ili za potrebe trajnih obrtnih sredstava ili se još češće reinvestiraju u druga sredstva. Tek za razliku u cijeni staroga i novoga sredstva treba tražiti druge izvore financiranja. Na temelju povijesnih podataka jedinične cijene staroga i novoga vrelovoda gotovo da se ne razlikuju. Zapravo, teoretski ne bi ih trebalo ni biti. Naime, računovodstvenim je standardima propisana obveza godišnjeg usklađivanja knjigovodstvene vrijednosti imovine s aktualnom tržišnom vrijednošću. Zbog toga je u računicu uključena pretpostavka o financiranju cjelokupne zamjene iz akumulirane amortizacije. Korišteni krediti držimo da su bili namijenjeni za financiranje trajnih obrtnih sredstava kako bi se naknadila akumulirana amortizacija upotrijebljena za financiranje predmetne zamjene. Zato, u pregledu ekonomskih tokova neće biti iskazani troškovi kamata na kredite, niti u novčanim tokovima odljevi za otplate kredita.

Ekonomski tokovi analizirat će se za nekoliko bitnih parametara, i to:

- smanjenje troškova nabave toplinske energije,
- smanjenje troškova dopune vode,
- povećanje troškova amortizacije,
- smanjenje troškova održavanja.

Zahvaljujući smanjenju ukupnih toplinskih gubitaka u zamijenjenim vrelovodima te otklanjanja njihove propusnosti, za istu količinsku prodaju potrebno je nabaviti manje toplinske energije i manje vode za dopunu sustava.

Za zamijenjene vrelovođe amortizacija je, po stopi od 2,5% godišnje, obračunavana na vrijednost prinovljenih vrelovoda u pojedinoj godini, počevši od početka ogrjevné sezone kada je počela njihova uporaba (1. listopada).

Prosječni godišnji materijalni troškovi održavanja svih vrelovoda Pogona Osijek (oko 40.000 m) prije početka zamjene iznosili su oko 1 milijun kuna. Najveći dio (oko 80%) odnosio se upravo na vrelovođe koji su predmet zamjene. Proizlazi da je trošak održavanja bio 20 kn/m trase ($1.000.000 \text{ kn} \times 0,8 = 800.000 \text{ kn} : 40.000 \text{ m} = 20 \text{ kn/m trase}$).

Osim materijalnih troškova održavanja bilo je i znatan iznos troškova osoblja koji su radili na održavanju vrelovoda. Pretežito je to bilo osoblje službe za hitne intervencije, koje je i nadalje ostalo u pripravnosti za popravak dotrajalih nezamijenjenih vrelovoda i drugih hitnih intervencija, tako da nakon zamjene vrelovoda nije došlo do smanjenja broja zaposlenika pa slijedom toga niti do smanjenja troškova osoblja.

U Tablici 10.7. ekonomskih tokova stavke prihoda nisu prikazane izravno već kao negativne stavke rashoda radi smanjenja troškova nabave toplinske energije i smanjenja troškova dopune vode.

Financijski tokovi, prikazani u Tablici 10.8., analizirat će se na temelju podataka o primitcima i izdatcima novca. Budući da je amortizacijski trošak, koji je iskazan u pregledu ekonomskih tokova, nenovčani izdatak (novčani je izdatak bio u trenutku investiranja) iz izdataka su isključeni iznosi amortizacije.

Na temelju navedenih analitičkih pretpostavki, koje u najvećoj mogućoj mjeri odgovaraju stvarnome stanju, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- Zamjenom dotrajalih vrelovoda ostvarena je potpuna pouzdanosti i sigurnosti opskrbe toplinskom energijom na trasama gdje je obavljena zamjena te time znatno povećana funkcionalnost cjelokupnog osječkog distribucijskog vrelovodnog sustava. U potpunosti je ostvarena društvena opravdanost projekta.

- U svim godinama analitičkog razdoblja ostvaruju se pozitivni ekonomski tokovi mjereni neto dobitcima od ušteda.
- Svođenjem iznosa sukcesivnih ulaganja na njihovu vrijednost na početak projekta postignuta je usporedivost učinaka ekonomskih tokova s izdadcima za financiranje projekta.
- Diskontiranjem ekonomskih i financijskih tokova po projektiranoj diskontnoj stopi od 6,5% proizlazi da će ulaganja biti vraćena u 13. godini (Tablica 10.9.).

Tablica. 10.7. Ekonomski tokovi revitalizacije vrel vodne mreže

OPIS	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	Ukupno
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Obračunske veličine											
Zamijenjeni vrel vodi, m	293	147			4.449	1.938	1.271	1.603	1.668	1.296	12.665
Kumulanta zamjena, m	293	440	440	440	4.889	6.827	8.098	9.701	11.369	12.665	
Investicija, tisuće kn	2.112	874			21.540	14.927	4.237	7.722	5.562	3.157	60.131
Kumulanta investicije, tisuće kn	2.112	2.986	2.986	2.986	24.526	39.453	43.690	51.412	56.974	60.131	
(tisuće kuna)											
Prihodi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rashodi	-955	-2.193	-3.659	-5.787	-6.110	-5.480	-7.007	-9.868	-9.215	-9.871	-60.144
Za nabavu topl. energije	-1.016	-2.155	-3.401	-5.401	-5.705	-5.560	-7.324	-10.217	-9.695	-10.348	-60.822
Za dopunu vode	54	-87	-324	-452	-516	-490	-534	-597	-613	-714	-4.273
Za održavanje	-6	-9	-9	-9	-98	-137	-162	-194	-227	-253	-1.103
Za amortizaciju 2,5%	13	58	75	75	209	706	1.013	1.141	1.320	1.444	6.054
Bruto dobitak	955	2.193	3.659	5.787	6.110	5.480	7.007	9.868	9.215	9.871	60.144
Porezi	191	439	732	1.157	1.222	1.096	1.401	1.974	1.843	1.974	12.029
Neto dobitak	764	1.754	2.927	4.630	4.888	4.384	5.606	7.894	7.372	7.897	48.115
OPIS	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.	2022.	2023.	2024.	Ukupno
1	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
(tisuće kuna)											
Prihodi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rashodi	-9.871	-9.871	-9.871	-9.871	-9.871	-9.871	-9.871	-9.871	-9.871	-9.871	-158.854
Za nabavu topl. energije	-10.348	-10.348	-10.348	-10.348	-10.348	-10.348	-10.348	-10.348	-10.348	-10.348	-164.302
Za dopunu vode	-714	-714	-714	-714	-714	-714	-714	-714	-714	-714	-11.413
Za održavanje	-253	-253	-253	-253	-253	-253	-253	-253	-253	-253	-3.633
Za amortizaciju 2,5%	1.444	1.444	1.444	1.444	1.444	1.444	1.444	1.444	1.444	1.444	20.494
Bruto dobitak	9.871	9.871	9.871	9.871	9.871	9.871	9.871	9.871	9.871	9.871	158.854
Porezi	1.974	1.974	1.974	1.974	1.974	1.974	1.974	1.974	1.974	1.974	31.771
Neto dobitak	7.897	7.897	7.897	7.897	7.897	7.897	7.897	7.897	7.897	7.897	127.083

Tablica. 10.8. Financijski tokovi revitalizacije vrelvodne mreže

(tisuće kuna)

OPIS	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	Ukupno
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ukupni primitci	764	1.754	2.927	4.630	4.888	4.384	5.606	7.894	7.372	7.897	48.115
Ukupni izdatci	2.099	816	-75	-75	21.331	14.221	3.224	6.581	4.242	1.713	54.077
Investicija	2.112	874			21.540	14.927	4.237	7.722	5.562	3.157	60.131
Amortizacija	-13	-58	-75	-75	-209	-706	-1.013	-1.141	-1.320	-1.444	-6.054
Čisti primitci	-1.335	938	3.002	4.704	-16.443	-9.836	2.382	1.313	3.130	6.184	-5.962
Kumulativ čistih primitaka	-1.335	-397	2.605	7.310	-9.134	-18.970	-16.589	-15.276	-12.146	-5.962	
OPIS	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.	2022.	2023.	2024.	Ukupno
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Ukupni primitci	7.897	7.897	7.897	7.897	7.897	7.897	7.897	7.897	7.897	7.897	127.083
Ukupni izdatci	-1.444	-1.444	-1.444	-1.444	-1.444	-1.444	-1.444	-1.444	-1.444	-1.444	39.637
Investicija	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60.131
Amortizacija	-1.444	-1.444	-1.444	-1.444	-1.444	-1.444	-1.444	-1.444	-1.444	-1.444	-20.494
Čisti primitci	9.341	9.341	9.341	9.341	9.341	9.341	9.341	9.341	9.341	9.341	87.446
Kumulativ čistih primitaka	3.379	12.720	22.061	31.402	40.742	50.083	59.424	68.765	78.106	87.446	

Tablica. 10.9. Diskontiranje tokova izdataka i dobitaka

(tisuće kuna)

Godina	Tokovi		Diskontiranje uz 6,5%			Razdoblje isplativosti
	Izdataka	Dobitaka	Faktor	Izdataka	Dobitaka	
1	2	3	4	5	6	7
2005.	2.112	764	0,9390	1.983	717	717
2006.	874	1.754	0,8817	771	1.547	1.547
2007.		2.927	0,8278	0	2.423	2.423
2008.		4.630	0,7773	0	3.599	3.599
2009.	21.540	4.888	0,7299	15.722	3.568	3.568
2010.	14.927	4.384	0,6853	10.229	3.004	3.004
2011.	4.237	5.606	0,6435	2.727	3.607	3.607
2012.	7.722	7.894	0,6042	4.666	4.770	4.770
2013.	5.562	7.372	0,5674	3.156	4.183	4.183
2014.	3.157	7.897	0,5327	1.682	4.207	4.207
2015.		7.897	0,5002		3.950	3.950
2016.		7.897	0,4697		3.709	3.709
2017.		7.897	0,4688		3.702	3.702
2018.		7.897	0,4141		3.270	
2019.		7.897	0,3888		3.070	
2020.		7.897	0,3651		2.883	
2021.		7.897	0,3428		2.707	
2022.		7.897	0,3219		2.542	
2023.		7.897	0,3022		2.386	
2024.		7.897	0,2838		2.241	
Ukupno	60.131	127.086		40.935	62.086	42.986

10.3. Proračun ušteda zbog optimiziranja temperaturnog režima

Na temelju podataka o proizvedenoj i isporučenoj toplinskoj energiji u 2015. godini [65] u vrelovodnom sustavu grada Osijeka (Tablica 10.10.), ostvarenim temperaturama u polaznom i povratnom vodu i cijenama toplinske energije (Tablica 10.11.) proračunate su uštede energije i troškova (Tablica 10.12.) zbog optimiziranja temperature polaza. Stanje nakon optimiziranja prikazano je u Tablici 10.13.

Postojeći tarifni sustav ne pokriva u potpunosti troškove proizvodnje toplinske energije. Stvarni troškovi proizvodnje toplinske energije za vrelovodni sustav u TE-TO Osijek u 2015. godini (prema podacima HEP-Proizvodnje d.o.o. Sektora za termoelektrane) iznosili su 283,74 kn/MWh (troškovi energije). Prosječna visina tarifne stavke za energiju u proizvodnji iznosi 208,31 kn/MWh (izračunato na temelju udjela kategorija kućanstva i poslovnih potrošača u isporučenoj toplinskoj energiji i pripadajućih važećih visina tarifnih stavki energije).

Tablica 10.10. Podaci o proizvedenoj i isporučenoj toplinskoj energiji u 2015. godini za centralni toplinski sustav – vrelovod u Osijeku

					kn
Proizvedeno	175.240	MWh			
Trošak Proizvodnje - ostvareni	283,74	kn/MWh	49.722.598		
Trošak Proizvodnje - po tarifnim cijenama	208,31	kn/MWh	36.504.244		
Gubitak HEP-Proizvodnje					13.218.353
Toplinski gubici	13.425	MWh	2.796.532		
Tg1	7.753	MWh	149,20	kn/MWh	1.156.738
Tg2	5.672	MWh	289,10	kn/MWh	1.639.793
Predano	161.815	MWh	36.145.900		
Tg1	93.445	MWh	160,00	kn/MWh	14.951.200
Tg2	68.370	MWh	310,00	kn/MWh	21.194.700
Razlika faktura proizvodnja / tarifa HERA					-358.344

Tablica 10.11. Cijene toplinske energije za centralni toplinski sustav – vrelovod u Osijeku

Energija				
	Kućanstva Tg1-TM1		Industrija i poslovni Tg2-TM2	
proizvodnja	0,1492	kn/kWh	0,2891	kn/kWh
distribucija	0,0108	kn/kWh	0,0209	kn/kWh
ukupno	0,16	kn/kWh	0,31	kn/kWh
Snaga				
proizvodnja	4,32	kn/kW mj.	7,01	kn/kW mj.
distribucija	4,11	kn/kW mj.	6,2	kn/kW mj.
ukupno	8,43	kn/kW mj.	13,21	kn/kW mj.
Opskrba	7,02	kn/mj.	7,02	kn/mj.
Kupac s PTV-om	0,44	kn/m ² /mj.	0,44	kn/m ² /mj.
Kupac bez PTV-a	0,32	kn/m ² /mj.	0,32	kn/m ² /mj.

Tablica 10.12. Proračun ušteda energije i troškova zbog optimiziranja temperature polaza mreže

$$Smanjenje\ gubitaka\ (\%) = 100 - ((T_{so} - T_{out}) + (T_{ro} - T_{out})) / ((T_{st} - T_{out}) + (T_{rt} - T_{out})) \times 100 \quad (2)$$

<i>T_{st}</i>	67	prosječna temperatura u polazu - postojeće [°C]
<i>T_{rt}</i>	45	prosječna temperatura u povratu - postojeće [°C]
<i>T_{out}</i>	5,3	temperatura okoline cijevi - prosječno [°C]
<i>T_{so}</i>	63	temperatura u polazu - optimizirano [°C]
<i>T_{ro}</i>	45	prosječna temperatura u povratu - optimizirano [°C]
<i>E_{proizv}</i>	175.240	proizvedena toplinska energija [MWh/god]
<i>E_{prod}</i>	161.815	prodana toplinska energija [MWh/god]
	13.425	toplinski gubici - postojeće [MWh/god]
	530	smanjenje toplinskih gubitaka zbog optimiziranja [MWh/god]
	92,3%	učinkovitost mreže - postojeće [%]
	92,6%	učinkovitost mreže - optimizirano [%]
	0,28%	poboljšanje učinkovitosti mreže [%]
	3,9%	smanjenje toplinskih gubitaka (relativno)
Cijena energije (HEP-Proizvodnja)	208,31	kn/MWh
Ušteda toplinske energije	530	MWh/god
	110.404	kn/god
Ukupna ušteda zbog optimiziranja temperature	110.404	kn/god

Tablica 10.13. Stanje nakon optimiziranja temperatura

kn

Proizvedeno	174.710	MWh	208,31	kn/MWh	36.393.840
Smanjena isporuka zbog optimiziranja temperatura					
Trošak Proizvodnje			283,74	kn/MWh	49.572.215
Gubitak HEP-Proizvodnje					13.178.375
Toplinski gubici	12.895	MWh			2.687.109
Kućanstva Tg1 - TM1	7.447	MWh	149,20	kn/MWh	1.111.092
Poslovni Tg2 - TM2	5.448	MWh	289,10	kn/MWh	1.575.017
Predano	161.815	MWh			36.145.900
Tg1 - TM1	93.445	MWh	160,00	kn/MWh	14.951.200
Tg2 - TM2	68.370	MWh	310,00	kn/MWh	21.194.700
Razlika faktura proizvodnja / tarifa HERA					-247.940

Budući da termoregulacijski ventili u većini podstanica nisu u funkciji, optimiziranjem temperaturnog režima vrelodnog sustava moguće je smanjiti isporučenu energiju krajnjim kupcima čime se smanjuju troškovi proizvodnje. Ove uštede prikazane su u Tablici 10.14., a u Tablici 10.15. prikazano je stanje nakon optimiziranja i smanjene isporuke toplinske energije.

Tablica 10.14. Proračun ušteda zbog smanjenja isporuke toplinske energije kupcima

Proizvedeno	MWh	kn
postojeće	175.240	36.504.244
optimizirano	171.959	35.820.779
Predano	MWh	kn
postojeće	161.815	36.145.900
optimizirano	159.064	35.531.420
Prodajna cijena HEP-Proizvodnja d.o.o.	208,31	kn/MWh
Proizvodna cijena HEP-Proizvodnja d.o.o.	283,74	kn/MWh
Ušteda HEP-Proizvodnja d.o.o.	247.486	kn/god
Razlika troška i prihoda postojeće	358.344	kn/god
Razlika troška i prihoda optimizirano	289.359	kn/god
Ušteda HEP-Toplinarstvo d.o.o.	68.985	kn/god
Ukupna ušteda manja opskrba HEP d.d.	316.471	kn/god

Tablici 10.15. Stanje nakon optimiziranja i smanjene isporuke toplinske energije

					kn
Proizvedeno	171.959	MWh	208,31	kn/MWh	35.820.779
Smanjena isporuka zbog optimiziranja temperatura i nereguliranih podstanica					
Trošak Proizvodnje			283,74	kn/MWh	48.791.647
Gubitak HEP-Proizvodnje					12.970.868
Toplinski gubici	12.895	MWh			2.687.109
Tg1 - TM1	7.447	MWh	149,20	kn/MWh	1.111.092
Tg2 - TM2	5.448	MWh	289,10	kn/MWh	1.575.017
Predano (smanjeno nereg. podstanice)	159.064	MWh			35.530.990
Tg1 - TM1	91.859	MWh	160,00	kn/MWh	14.697.440
Tg2 - TM2	67.205	MWh	310,00	kn/MWh	20.833.550
Razlika faktura proizvodnja / tarifa HERA					-289.789

Ukupne uštede u proizvodnji i distribuciji toplinske energije nakon optimiziranja temperature i smanjenja isporuke toplinske energije prikazane su u Tablici 10.16.

Tablica 10.16. Ukupne uštede

	kn/god
HEP-Toplinarstvo d.o.o.	179.389
Ušteda optimiziranje temperature	110.404
Ušteda manja isporuka energije/tarifa HERA	68.985
HEP-Proizvodnja d.o.o.	247.486
Sveukupno uštede	426.875

Posljedica nedovoljne regulacije u toplinskim podstanicama je temperatura u prostorijama stambenih i poslovnih prostora, koja premašuje projektirane vrijednosti za nekoliko stupnjeva. Obzirom da se optimiziranjem polazne temperature utječe na temperaturu u prostoru korisnika (zbog nedostatka regulacije u podstanicama) napravljen je izračun promjene unutrašnje temperature zbog optimiziranja polazne temperature. Proračun je prikazan u nastavku (Tablica 10.17.) i pokazuje smanjenje temperature u prostorijama korisnika za 0,3°C, što je, imajući u vidu prosječne temperature od 22°C, još uvijek iznad projektnih vrijednosti i ne uzrokuje značajnije smanjenje udobnosti.

Tablici 10.17. Kontrolni proračun promjene temperature u prostorijama

$$\frac{W}{W_n} = \left(\frac{dT}{dT_n} \right)^{n+1} \quad (3)$$

- W energija predana prostoru – postojeće stanje
 W_n energija predana prostoru – optimizirano stanje
 dT razlika srednje temperature vode u radijatoru i temperature grijanog prostora – postojeće stanje
 dT_n razlika srednje temperature vode u radijatoru i temperature grijanog prostora – optimizirano stanje
 n Koeficijent toplinskog učinka radijatora

$$W = k \cdot A \cdot (T_p - T_v) \quad (4)$$

$$W_n = k \cdot A \cdot (T_{pn} - T_{vn}) \quad (5)$$

- k koeficijent topl. provodljivosti
 A površina/oplošje grijanih površina
 T_p temperatura u prostoriji
 T_v vanjska temperatura zraka

T_{pn}	21,7	Temperatura u prostoriji - nova [°C]
T_{vn}	4	Vanjska temperatura - nova [°C]
T_p	22,0	Temperatura u prostoriji - stara [°C]
T_v	4	Vanjska temperatura - stara [°C]
T_{dovn}	63	Temperatura u polazu primara - nova [°C]
T_{dov}	67	Temperatura u polazu primara - stara [°C]
T_{povn}	45	Temperatura u povratu primara - nova [°C]
T_{pov}	45	Temperatura u povratu primara - stara [°C]
m_s/m_p	3,0	Omjer masenih protoka sekundara i primara u podstanici [-]
dT_{pr}	22,0	Razlika temperatura u primaru – stara [°C]
dT_{prn}	18,0	Razlika temperatura u primaru – nova [°C]
dT_s	7,3	Razlika temperatura u sekundaru – stara [°C]
dT_{sn}	6,0	Razlika temperatura u sekundaru – nova [°C]
T_s	52,3	Temperatura u polazu sekundara – stara [°C]
T_{sn}	51,0	Temperatura u polazu sekundara – nova [°C]
dT_n	26,3	Srednja temperaturna razlika radijatora - novo stanje [°C]
T_{sn}	51,0	Temperatura u polazu sekundara – nova [°C]
$T_s - T_{sn}$	1,3	Razlika između stare i nove temperature u polazu sekundara [°C]
$Ušteda$	1,7%	Smanjenje predane energije zbog smanjenja temperature polaza
dT_p	0,3	Smanjenje temperature u prostoriji [°C]

Optimiziranje temperaturnog režima rezultira smanjenjem toplinskih gubitaka u distribuciji te manjom isporukom i proizvodnjom toplinske energije, što ima pozitivan utjecaj na emisije CO₂, prikazane u Tablici 10.18.

Tablica 10.18. Smanjenje emisija CO₂ nakon optimiziranja temperaturnog režima

Stavka	Osijek [MWh/god]	Koeficijent [t CO ₂ /MWh]	Ukupno [t CO ₂ /god]
Proizvedena toplinska energija	175.240	0,2547486	44.642
Smanjenje toplinskih gubitaka	530		135
Smanjenje isporučene energije	2.751		701
Ukupno emisija CO ₂ prije optimiziranja [t/god]	44.642		
Ukupno emisija CO ₂ poslije optimiziranja [t/god]	43.806		
Smanjenje emisija CO₂ [t/god]	836		
Smanjenje emisija CO₂ [%]	1,9%		

10.4. Proračun ušteda nakon ugradnje razdjelnika

Na temelju podataka iz 2015. godine (nakon optimiziranja temperaturnog režima) proračunat će se što će pretpostavljeno smanjenje potrošnje toplinske energije od 25% i snižavanje temperatura polaza za 2°C, nakon ugradnje razdjelnika i termostatskih radijatorskih ventila, značiti za gubitke u distribuciji toplinske energije, troškove proizvodnje i distribucije te emisije dimnih plinova. Rezultati proračuna su prikazati u Tablicama 10.19., 10.20. i 10.21.

Tablica 10.19. Proračun ušteda energije i troškova nakon ugradnje razdjelnika

$$\text{Smanjenje gubitaka (\%)} = 100 - ((T_{so} - T_{out}) + (T_{ro} - T_{out})) / ((T_{st} - T_{out}) + (T_{rt} - T_{out})) \times 100 \quad (2)$$

<i>T_{st}</i>	63	prosječna temperatura u dovodu - postojeće [°C]
<i>T_{rt}</i>	45	prosječna temperatura u povratu - postojeće [°C]
<i>T_{out}</i>	5,3	temperatura okoline cijevi - prosječno [°C]
<i>T_{so}</i>	61	temperatura u dovodu - optimizirano [°C]
<i>T_{ro}</i>	45	prosječna temperatura u povratu – optimizirano [°C]
<i>E_{proizv}</i>	171.959	proizvedena toplinska energija [MWh/god]
<i>E_{prod}</i>	159.064	prodana toplinska energija [MWh/god]
	12.895	toplinski gubici - postojeće [MWh/god]
	264	smanjenje toplinskih gubitaka zbog optimiziranja [MWh/god]
	92,5%	učinkovitost mreže - postojeće [%]
	92,64%	učinkovitost mreže - optimizirano [%]
	0,14%	poboljšanje učinkovitosti mreže [%]
	2,05%	smanjenje toplinskih gubitaka (relativno)
Cijena energije (HEP-Proizvodnja)	208,31	kn/MWh
Ušteda toplinske energije	264	MWh/god
	54.994	kn/god
Ukupna ušteda zbog optimiziranja temperature	54.994	kn/god

Tablica 10.20. Proračun ušteda zbog smanjenja isporuke toplinske energije kupcima nakon ugradnje razdjelnika

Proizvedeno	MWh	kn
postojeće	171.959	35.820.779
optimizirano	131.929	27.482.130
Predano	MWh	kn
postojeće	159.064	35.530.990
optimizirano	119.298	26.648.215
Prodajna cijena HEP-Proizvodnja	208,31	kn/MWh
Proizvodna cijena HEP-Proizvodnja	283,74	kn/MWh
Ušteda HEP-Proizvodnja d.o.o.	3.019.463	kn/god
Razlika troška i prihoda postojeće	289.789	kn/god
Razlika troška i prihoda optimizirano	833.915	kn/god
Ušteda HEP-Toplinarstvo d.o.o.	-544.126	kn/god
Ukupna ušteda manja opskrba HEP d.d.	2.475.337	kn/god

Uštede ukupno Osijek

	kn/god
HEP-Toplinarstvo d.o.o.	-489.132
Ušteda optimiziranje temperature	54.994
Ušteda manja isporuka energije/tarifa HERA	-544.126
HEP-Proizvodnja d.o.o.	3.019.463
Sveukupno uštede	2.530.331

Tablica 10.21. Smanjenje emisija CO₂ nakon ugradnje razdjelnika

Stavka	Osijek [MWh/god]	Koeficijent [t CO ₂ /MWh]	Ukupno [t CO ₂ /god]
Proizvedena toplinska energija	171.959	0,2547486	43.806
Smanjenje toplinskih gubitaka	264		67
Smanjenje isporučene energije	39.766		10.130
Ukupno emisija CO ₂ prije razdjelnika [t/god]			43.806
Ukupno emisija CO ₂ poslije razdjelnika [t/god]			33.609
Smanjenje emisija CO₂ [t/god]			10.197
Smanjenje emisija CO₂ [%]			23,3%

ŽIVOTOPIS

Ivica Mihaljević rođen je 29.09.1966. godine u Zloselima, Kupres, Bosna i Hercegovina. Osnovnu i srednju školu (matematičko-informatički smjer) završio je u Osijeku. Diplomirao je studij strojarstva smjer energetika na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu 1991. godine. Na istom fakultetu magistrirao je 1998. godine, također smjer energetika. Odmah po završetku studija zaposlio se u Hrvatskoj elektroprivredi d.d. Pogonu TE-TO Osijek na radnom mjestu inženjer za eksploataciju u Odjelu za distribuciju toplinske energije. Od 1992. godine do 2003. godine radi kao rukovoditelj ovog Odjela. Od 2003. godine do 2004. godine obavlja poslove tehničkog rukovoditelja Pogona Osijek u HEP-Toplinarstvo d.o.o., a od 2004. godine radi na radnom mjestu direktora Pogona Osijek. Bio je suradnik u izradi Nacionalnog energetskog programa "KUEN_{cts} – program energetske efikasnosti centraliziranih toplinskih sustava" (Energetski institut H. Požar, 1998. godina). U razdoblju od 2006. do 2010. godine sudjelovao je u provedbi projekta revitalizacije toplinskog sustava u gradu Osijeku sufinanciranog kreditom Svjetske banke.

Položio je stručni ispit i član je Hrvatske komore inženjera strojarstva. Pohađao je brojne stručne i poslovne seminare s ciljem stručnog usavršavanja (komunikacijske vještine, mini MBA, *lean* seminari). Član je Društva energetičara Osijek i Lean Menadžment Inicijative. Govori engleski jezik. Koristi Microsoft Office alate (Word, Excel, Outlook, PowerPoint) i AutoCAD.

Oženjen je i otac sedmogodišnjeg sina.

BIOGRAPHY

Ivica Mihaljević was born on 09/29/1966. in Zlosela, Kupres, Bosnia and Herzegovina. Elementary and secondary education (mathematics and informatics) finished in Osijek. He graduated in mechanical engineering direction of energy at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb in 1991. At the same university master's degree in 1998, also direction of energy. Immediately after graduation, working in Hrvatska Elektroprivreda d.d. TE-TO Osijek workplace engineer for exploitation in the Department for the distribution of heat. From 1992 to 2003 he worked as Head of Department. From 2003 to 2004, performs the technical manager of the Osijek HEP Toplinarstvo d.o.o., and since 2004 he worked as a director of the Osijek plant. He collaborated in the development Nacinalanog energy program "KUENcts - energy efficiency of central heating systems" (Energy Institute H. Požar, 1998). In the period from 2006 to 2010, he participated in the implementation of the revitalization of the heating system in Osijek co-financed a World Bank loan.

He passed the exam and is a member of the Croatian Chamber of Mechanical Engineers. He has attended numerous professional and business seminars with the aim of professional training (communication skills, a mini MBA, lean seminars). Member of the Association of Energy Sector Osijek and Lean Management Initiative. He speaks english. Benefits of Microsoft Office tools (Word, Excel, Outlook, PowerPoint) and AutoCAD.

He is married and the father of a seven-year son.